VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE

PERIODEN DER ERDBEBENWELLEN

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER NACHLÄUFERWELLEN

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT ZU GÖTTINGEN

VORGELEGT VON

FRIEDRICH ROESENER
AUS HANNOVER

MIT 4 FIGUREN

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

GÖTTINGEN 1912
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN, LEIPZIG

Tag der mündlichen Prüfung: 8. Mai 1912.
Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Wiechert.

Erscheint in Gerlands „Beiträgen zur Geophysik", Band XII, Heft 2.

Druck der Königl. Universitätsdruckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.

MEINEN LIEBEN ELTERN

IN DANKBARKEIT GEWIDMET.

1. Zusammenhang zwischen wahrer Bodenbewegung und Indikatorbewegung.

In der vorliegenden Arbeit handelt es sich im wesentlichen um die Untersuchung der Perioden, in denen der Erdboden während eines Erdbebens hin und herschwingt. Daher ist vor allen Dingen festzustellen, in welcher Beziehung die vom Apparat aufgezeichnete Periode zu der wahren Erdbebenperiode steht.

Bekanntlich stellen die Aufzeichnungen der Seismographen, auf die wir für unsere Untersuchungen angewiesen sind, keineswegs die Bewegung der Erdteilchen während eines Erdbebens oder sonstiger Störungen direkt dar. Diese Annahme würde nur richtig sein bei Schwingungen, die im Verhältnis zur Eigenperiode des registrierenden Apparates als sehr schnelle bezeichnet werden müssen. Bei den langsameren Schwingungen des Erdbodens während eines Erdbebens aber bleibt die Masse der Seismographen nicht stationär, sondern bewegt sich unter dem Einfluss der Erdbewegung, sodass uns die vom Apparat aufgezeichnete Kurve nicht direkt ein Bild von der Art der Bodenbewegung gibt. Der Zusammenhang zwischen Diagramm- und Bodenbewegung ist auf diese Weise nicht ganz einfach. Analytisch ist er gegeben durch eine Differentialgleichung 2. Ordnung

$$\frac{d^2\sigma}{dt^2} = -\frac{1}{V}\left(\frac{d^2a}{dt^2} + \left[\frac{2\pi}{T_0}\right]^2 a + \frac{2}{\tau}\frac{da}{dt}\right)$$

Hierin bedeutet a den Ausschlag im Diagramm, σ die entsprechende

Translation oder Verrückung der Erdoberfläche in der Richtung der betreffenden Komponente, V ist eine Konstante, die sog. Indikatorvergrösserung des Instruments. Von besonderer Wichtigkeit ist das dritte Glied auf der rechten Seite der Gleichung. Es ist das sog. Dämpfungsglied. Werden doch erst durch Anwendung einer entsprechend starken Dämpfung die störenden Eigenschwingungen des registrierenden Apparates aus dem Diagramm ferngehalten (33)[1]).

Um nun allgemein aus dem gewonnenen Diagramm auf wahre Amplitude und Periode der Erdbodenbewegung schliessen zu können, müsste man eine zweimalige Integration der Indikatorkurve vornehmen. Für einzelne Wellen, wie z. B. für die erste Vorläuferwelle eines Bebens, ist diese Integration von H. Arnold (3) auch praktisch durchgeführt. Da aber, wo es sich um die Integration grösserer Wellenzüge handelt, ist die Methode aus technischen Gründen vorläufig nicht anwendbar. Meistens bedarf man ihrer überhaupt garnicht bei der Feststellung der Periode. Man kann nämlich für den bei weitem am häufigsten bei der Registrierung eines Bebens vertretenen Fall, dass der Erdboden Sinusschwingungen um eine Ruhelage ausführt, die Periode direkt aus dem Diagramm ablesen. Denn wegen der zwischen Diagramm- und Bodenbewegung herrschenden Beziehung muss, wie wir leicht erkennen, für den Fall, dass der Erdboden Sinusschwingungen ausführt, auch der Indikator eine Sinusbewegung derselben Periode vollziehen und zwar für ungedämpfte Seismographen mit derselben Phase, für gedämpfte mit einer entsprechenden Phasenverschiebung, die im wesentlichen bedingt ist, durch die Eigenperiode des Pendels, durch die Periode der aufzuzeichnenden Erdbodenbewegung und durch das Dämpfungsverhältnis (vgl. hierzu 34, 7 u. 8). So kann die Periode der Erdbodenbewegung für den Fall der Sinusschwingungen direkt aus dem Diagramm entnommen werden.

Sofern wir es also wirklich mit sinusförmigen Schwingungen des Bodens zu tun haben, werden wir erwarten müssen, dass auf einer Station bei einem bestimmten Beben alle Apparate — zum mindesten zunächst gleiche Komponenten — zu entsprechenden Zeiten gleiche Perioden aufzeichnen. In der Tat haben Messungen, die ich in dieser Hinsicht für die Nachläuferwellen anstellte, durch Vergleich der Bebendiagramme, wie sie die N—S-Komponente des 1200 kg-Pendels (Eigenperiode $T_0 = 12 — 14$ Sek., Indikatorvergrösserung V = ca. 170)

[1]) Die in Klammern hinzugefügten Zahlen weisen auf die Literaturangaben am Schluss hin.

und das gleichfalls N—S-lich orientierte 100 kg-Pendel ($T_0 = 54$ Sek., $V = 10$) des hiesigen Geophysikalischen Instituts lieferten, dies im wesentlichen durchaus bestätigt. Zu beachten ist hierbei aber, dass in besonderen Fällen doch Abweichungen vorkommen können. Diese Abweichungen finden in erster Linie ihre Erklärung in der verschiedenen Empfindlichkeit der Apparate. Die Störungsperiode T übt nämlich einen ganz bedeutenden Einfluss auf die dynamische Vergrösserung V des Seismographen aus (35). Es ist nämlich

$$\mathfrak{V} = \frac{V}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{T}{T_0}\right)^2\right)^2 + 4\left(\frac{T_0}{2\pi\tau}\right)^2 \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^2}}$$

Hierin bedeutet:

V die Indikatorvergrösserung des Instruments, das ist die Vergrösserung, mit welcher bei dem einfachen Pendel, das dem Seismographen äquivalent ist, die Bewegungen des Pendelgewichts aufgeschrieben werden,

T_0 die Eigenperiode des ungedämpften Instruments,

T die Periode der Bodenbewegung,

$\frac{T_0}{2\pi\tau}$ eine für die Dämpfung charakteristische Konstante.

Ist die Dämpfung hinreichend, sodass die störenden Eigenschwingungen des Instruments nicht hervortreten können, so lehrt die obige Formel, dass Störungsperioden, die kleiner oder nur sehr wenig grösser als die Eigenperiode T_0 des Instruments sind, nahezu mit der Indikatorvergrösserung V aufgezeichnet werden. Wird jedoch die Störungsperiode sehr gross gegen die Eigenperiode des Instruments, so nimmt $\mathfrak{V}$ rasch ab, ungefähr proportional mit $\frac{1}{T^2}$ und zugleich auch mit der Indikatorlänge I. Dabei ist I die Entfernung der Schreibspitze von der Achse bei dem äquivalenten einfachen Pendel.

Man erkennt hiernach nun weiter leicht, dass die Pendel um so empfindlicher für kleinere Perioden sein werden, je kleiner die Eigenperiode des Instruments ist. So kann es denn tatsächlich vorkommen, dass zu entsprechenden Zeiten dieselbe Störungsperiode von dem einen Pendel aufgezeichnet wird, von dem anderen dagegen nicht. Das 17000 kg-Pendel ($T_0 = 1{,}4$ Sek., $V = 2000$) ist z. B. gegen eine Störungsperiode von 1,4 Sek. etwa 200 mal empfindlicher als das 100 kg-Pendel ($T_0 = 54$ Sek., $V = 10$). Umgekehrt ist das 100 kg-

Pendel gegen eine Störungsperiode von 54 Sek. 10 mal empfindlicher als das 17 000 kg-Pendel. Für das 100 kg-Pendel gilt in diesem Falle $T = T_0$, d. h. aber $\mathfrak{V}$ ist ungefähr gleich V, für das 17 000 kg-Pendel dagegen ist T sehr gross gegen dessen Eigenperiode T_0, sodass $\mathfrak{V}$ um vieles kleiner wird als V. Die untere Grenze aber für die Empfindlichkeit der Apparate ist in der Praxis die Dicke der registrierten Kurven. Diese Dicke beträgt für gewöhnlich bei Russschrift nicht mehr als $\frac{1}{30}$ mm. Dementsprechend ist eine Diagrammamplitude von $\leqq 16\,\mu$ ($1\,\mu = 0{,}001$ mm) von der Mitte der Nullinie aus gerechnet, nicht mehr wahrzunehmen, da sie in der Dicke der Kurve verschwindet. Finden nun z. B. gleichzeitig Schwingungen verschiedener Periode des Bodens statt, so ist es jetzt allerdings möglich, dass zu entsprechenden Zeiten von zwei verschieden empfindlichen Pendeln auch ganz verschiedene Perioden wahrnehmbar registriert werden. Es führe etwa der Boden eine Schwingung mit einer Periode von 54 Sek. bei einer wahren Amplitude von $A = 16\,\mu$ aus. Die Fortschreitungsrichtung dieser Welle sei unter 45^0 gegen die N—S- bzw. E—W-Richtung geneigt. Gleichzeitig sei dieser Schwingung eine andere von der Periode 1,4 Sek. bei einer wahren Amplitude von $A = 1{,}6\,\mu$ überlagert. Wie man sich nun leicht ausrechnen kann, erhält man als Diagrammamplituden für die erste Störung von 54 Sek. Periode vom 17 000 kg-Pendel eine Amplitude $\mathfrak{A} = 16\,\mu$, die, wie oben gezeigt, im Diagramm nicht wahrzunehmen ist. Vom 100 kg-Pendel aber erhalten wir eine Diagrammamplitude von $\mathfrak{A} = 160\,\mu$ aufgezeichnet. Im zweiten Falle (Störungsperiode 1,4 Sek.) erhält man vom 17 000 kg-Pendel unter den gemachten Annahmen eine Diagrammamplitude von $\mathfrak{A} = 3200\,\mu$, vom 100 kg-Pendel dagegen eine Diagrammamplitude von $\mathfrak{A} = 16\,\mu$, die jedoch als solche wegen der Dicke der Kurve wieder nicht zu erkennen ist. Das Ergebnis ist also, dass man unter diesen Bedingungen tatsächlich auf dem Diagramm des 100 kg-Pendels die Periode 54 Sek., auf dem des 17000 kg-Pendels aber zu gleicher Zeit die Periode 1,4 Sek. beobachtet. Alle diese Betrachtungen gelten jedoch nur bei einer genügend kräftigen Dämpfung. Als Dämpfungsverhältnis empfiehlt sich 5:1 oder 6:1. Denn eine geringere Dämpfung ($< 3:1$) übt einen Einfluss auf die Indikatorvergrösserung periodischer Störungen in der Weise aus, dass diejenigen Störungsperioden, welche der Eigenperiode nahe kommen, sehr stark bevorzugt werden. Bei besonders kräftiger Dämpfung aber ($> 8:1$) wird die Empfindlichkeit gegenüber allen Perioden ausser den sehr

kleinen bzw. sehr grossen stark herabgesetzt. Jenseits von $T = \sqrt{2}\, T_0$ büsst dann die Dämpfung langsam ihren Einfluss ein, wohingegen sich immer mehr der Abfall der Vergrösserung geltend macht.

Wenden wir uns jetzt zu den Verhältnissen auf verschieden gerichteten Komponenten, so haben wir hinsichtlich der Empfindlichkeit der Pendel nichts Neues hinzuzufügen, wohl aber in anderer Hinsicht. Ist es nicht denkbar, dass bei einem bestimmten Beben der Erdboden gleichzeitig in zwei verschiedenen Richtungen Schwingungen ganz verschiedener Periode ausführt? Praktisch kommt nun dieser Fall jedoch für die folgenden Periodenuntersuchungen der Nachläufer nicht in Betracht. Denn stellen wir z. B. die Perioden der Nachläufer eines Bebens nach der Häufigkeit ihres Vorkommens sowohl auf der EW- als auch auf der NS-Komponente jede für sich zahlenmässig zusammen, so zeigen sich erfahrungsmässig beim Vergleich für beide Komponenten dieselben Häufungsstellen.

Auch die Periodenmessungen der Nachläufer ein- und desselben Bebens auf dem Vertikalpendel (T_0 = ca. 4 Sek., $V = 170$) lieferten ein mit den Messungen auf den EW- und NS-Komponenten innerhalb der Fehlergrenzen qualitativ übereinstimmendes Resultat hinsichtlich der Häufigkeit der verschiedenen Perioden. Unter Zugrundelegung dieser Tatsachen wird man den Schluss ziehen können, dass bei einem Erdbeben für solche Sinusschwingungen ein Erdteilchen geradlinig bzw. allgemein in einer räumlich irgendwie orientierten Ellipse schwingt. Wie diese Gerade oder Ellipse liegt, könnte man durch Konstruktion ermitteln. Durch zweimalige Integration einer von allen drei Komponenten aufgezeichneten Welle verschafft man sich die wahren Werte der Bodenverrückungen in Richtung dieser Komponenten. Zeitlich sich entsprechende Werte setzt man dann in einem dreidimensionalen rechtwinkligen Koordinatensystem zusammen, dessen drei Achsen bzw. die Bodenverrückungen in der NS-, EW- und vertikalen Richtung angeben. So erhält man die Schwingungsbahn eines Erdteilchens während einer bestimmten Zeit.

2. Das Beobachtungsmaterial und seine Bearbeitung.

Die Erfahrung, dass die Nachläuferwellen eines Bebens auch auf verschiedenen Komponenten durchweg dieselbe Periode aufweisen, ist insofern von Wichtigkeit, als wir dadurch für die folgenden ausführlichen Periodenuntersuchungen der Nachläufer unabhängig von

den Diagrammkomponenten geworden sind. Wir können immer diejenige bevorzugen, auf der sich die Wellen am schönsten ausgeprägt finden und möglichst frei von jeglicher störender Ursache sind. Denn gerade die Nachläuferwellen, in denen das Beben abklingt, deren Amplitude an und für sich schon klein, aber je näher dem Bebenende um so geringer wird, sind infolgedessen gegen Störungen der gleichen Grössenordnung ausserordentlich empfindlich, sodass die Periodenmessungen dann leicht ein falsches Bild geben können. Als störende Ursache machte sich vor allen Dingen die sog. seismische Bodenunruhe bemerkbar, und zwar für Göttingen besonders diejenige Bewegung kurzer Periode, welche nach einer Hypothese von E. Wiechert als erzwungene Schwingung der Erdrinde aufzufassen ist, hervorgerufen durch die Brandung an der norwegischen Steilküste (10). Da diese Bewegung oft Amplituden von der Grössenordnung der letzten Nachläuferwellen eines Bebens bei ca. 6 Sek. Periode erreicht, so wird das eigentliche Bebenbild in solchen Fällen so gut wie unbrauchbar. Eine grosse Anzahl von Beben war auf diese Weise so stark gestört, dass sie von vornherein für die nähere Untersuchung ausschied. Da nun diese Brandungsbewegung wegen ihres Zusammenhangs mit den meteorologischen Elementen besonders im Winter und in den Übergangszeiten vorherrscht, schieden deswegen von vornherein ein grosser Teil der Seismogramme aller derjenigen Beben, die gerade in dieser Zeit stattfanden, für die Untersuchung aus. Jedoch dank des ausserordentlich zahlreichen Erdbebenmaterials, wie es sich seit Bestehen der hiesigen Station angesammelt hatte, blieb immerhin vorerst noch eine ausreichende Menge zur Untersuchung übrig. Da der Herd dieser seismischen Bodenunruhe in nördlicher Richtung von Göttingen liegt, so erscheint sie natürlich auf der NS-Komponente am kräftigsten ausgebildet. In solchen Fällen konnte ich manchesmal, wenn die Bewegung nicht gar zu heftig war, das betreffende Beben gleichwohl untersuchen, indem ich mich auf die EW-Komponente beschränkte. Wegen des störenden Einflusses der Meeresbrandung in und um Samoa (19), waren auch leider die Diagramme der dortigen Station, die ich gern zum Vergleich herangezogen hätte, für die Untersuchung der Nachläuferwellen nicht zu verwenden.

Die folgenden Untersuchungen wurden, soweit es nicht anders vermerkt ist, durchweg an den Diagrammen des 1200 kg-Horizontalpendels angestellt. Die Perioden der sinusförmigen Erdbebenwellen wurden so gemessen, dass vermittelst eines in Millimeter eingeteilten Glasmasstabes, auf dem die Zehntel noch geschätzt wurden, die Dauer

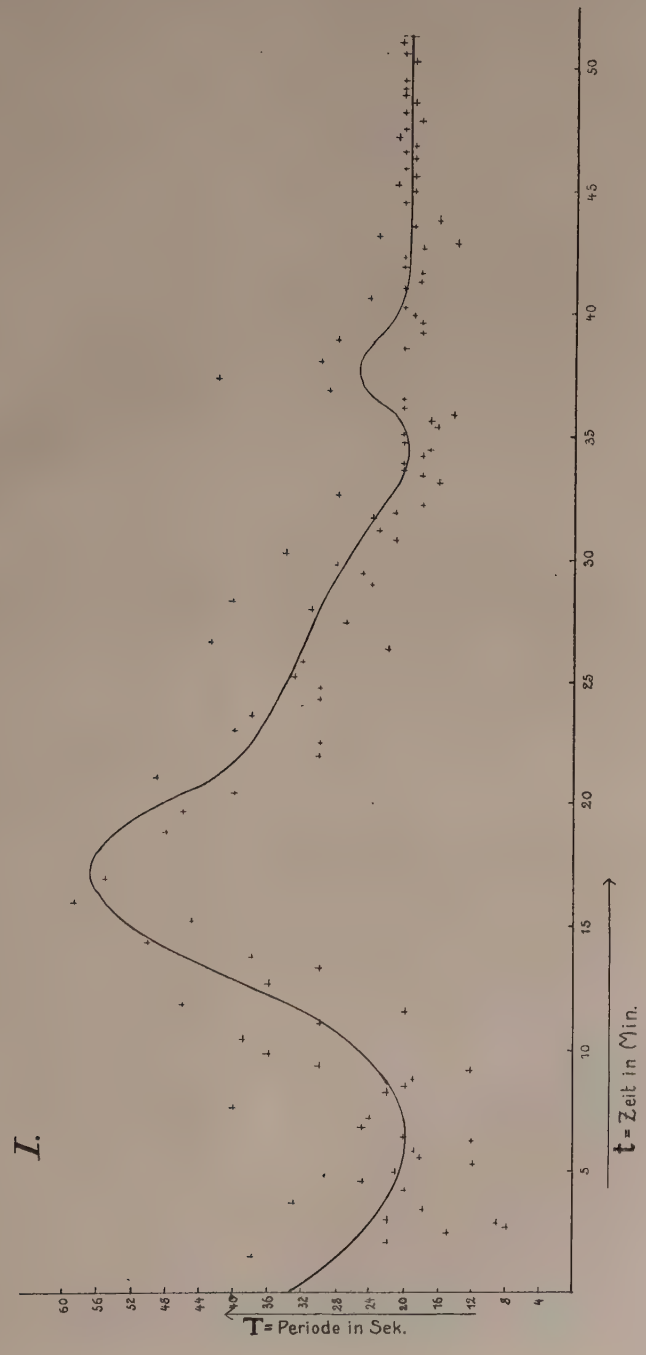
einer ganzen Doppelschwingung, gemessen von einem Maximum bis zum nächsten, festgelegt wurde. Hierbei liess sich unter Berücksichtigung der bestehenden Registriergeschwindigkeit von 10 mm pro Minute im günstigsten Falle eine Genauigkeit von $\pm$ 1 Sek. erreichen. Bei grösseren Perioden aber wird, falls sie nicht auch entsprechend grössere Amplituden haben, die Ablesegenauigkeit weit geringer. Um gleich einen Blick für die Genauigkeit der Messungen zu erhalten, wurden die Perioden nicht umgerechnet in Sekunden angegeben, sondern direkt in Millimetermass des benutzten Glasmasstabes. Die in den Tabellen angegebenen Zahlen für die Periode sind also noch mit dem Faktor 6 zu multiplizieren, um die Periode der gemessenen Welle in Sekunden zu erhalten. Die Resultate der Periodenmessungen bei den einzelnen Beben wurden rein zahlenmässig in Tabellen oder z. T. auch der besseren Anschaulichkeit wegen in sog. Häufigkeitsdiagrammen niedergelegt. Die Diagramme habe ich so gewonnen, dass ich für jedes Beben in einem rechtwinkligen Koordinatensystem auf der Abszissenachse die Werte der im Bebendiagramm Welle für Welle gemessenen Perioden, auf der Ordinatenachse die Zahl aufgetragen habe, die mir angibt, wie oft die betreffende Periode gemessen wurde. So liefert das Diagramm ohne weiteres 1. diejenige Periode, die am häufigsten in der untersuchten Phase vorkommt, 2. zeigt es, wie die ausser dieser noch gemessenen anderen Perioden, mögen sie als solche reell oder auf äussere Störungen bzw. Messfehler zurückzuführen sein, sich um die häufigste gruppieren.

3. Zeitliche Änderung der Wellenperiode bei der Registrierung eines Fernbebens.

Bevor wir uns zu unserer eigentlichen Aufgabe, der Untersuchung der Perioden in den sog. Nachläufern der Beben wenden, will ich einige allgemeine Bemerkungen über den zeitlichen Periodenverlauf während eines Erdbebens an einer Station fern vom Herd vorausschicken.

Ein Erdbeben wird eingeleitet durch kurze, meistens nicht ganz regelmässige Schwingungen der 1. Vorläufer, Longitudinalwellen (P-Wellen), die durch das Erdinnere gegangen sind; ihnen folgen Wellen im allgemeinen mit grösseren z. T. ganz erheblich längeren Schwingungen, die sog. 2. Vorläufer (S-Wellen). Sie sind Transversalwellen, die gleichfalls auf einem von dem der ersten Vorläufer vielleicht nur wenig verschiedenen Wege durch das Erdinnere zu uns gelangen. Nach einiger Zeit beginnt diejenige Phase, die die weitaus

grössten Perioden des ganzen Bebens, häufig mit vielen Überlagerungen, aufzuweisen hat: das Auftreten der Oberflächenwellen; sie leiten dann mit abklingender Periode zu den regelmässigen mit grösster Amplitude versehenen Maximalwellen über. Diese Schwingungen tragen meistens einfachen harmonischen Charakter. Wellen kürzerer Periode, die ihnen sonst wohl überlagert sind, können nicht mehr als solche wahrgenommen werden, da sie ganz in den grossen Amplituden der Hauptwellen verschwinden. Erst beim allmählichen Abklingen der Hauptbewegung treten auch meistens die Überlagerungen wieder hervor und verleihen diesem Teil des Diagramms ein etwas unregelmässiges Aussehen. Schliesslich jedoch verschwinden auch die Überlagerungen gänzlich; es folgen jetzt, oft stundenlang, bis zum Schluss des Bebens wunderschöne, glatte, harmonische Wellenzüge, die eigentlichen Nachläuferwellen. Um uns zunächst ein Bild von der zeitlichen Aufeinanderfolge der Perioden der einzelnen Wellen während eines Erdbebens zu machen, verfahren wir folgendermassen: wir messen zunächst einmal ein Beben, z. B. das Beben 09 Juni 3, Welle für Welle durch. Dann tragen wir jede einzelne gemessene Periode als Funktion der Zeit in einem rechtwinkligen zweidimensionalen Koordinatensystem ein. So entsteht ein sehr typisches Bild dafür, wie sich die Perioden in den einzelnen Phasen eines Bebens in zeitlicher Aufeinanderfolge gruppieren lassen. Die gezeichnete Kurve (s. Fig. 1), welche mit den zweiten Vorläufern beginnend alle übrigen Phasen bis zum Schluss des Bebens mit den Nachläuferwellen umfasst, ist abgeleitet aus dem Diagramm, wie es das bereits erwähnte Wiechertsche 100 kg-Pendel, das für diese Zwecke ganz besonders gut geeignet ist, von diesem Beben geliefert hatte. Da die Wellen der ersten Vorläufer wegen der Unempfindlichkeit dieses Instruments für kurze Perioden nicht aufgezeichnet worden sind, so beginnt die Kurve erst damit, wie die in den zweiten Vorläufern aufgetretenen ziemlich langen Perioden langsam abnehmen. Sie zeigt dann, wie die Wellenperioden nach Erreichen eines Minimums wieder stark zunehmen. Wir gelangen damit in den Bereich der Anfangsphase der langen Wellen. Nachdem die Periode der langen Wellen ihren höchsten Wert erreicht hat, sinkt sie zunächst wieder ebenso wie sie gestiegen ist. Schliesslich stellt sie sich dann auf einen durchaus konstanten Wert ein bis zum gänzlichen Verlöschen der Diagrammbewegung. Diese letzten Wellenzüge tragen die Bezeichnung Nachläuferwellen. Bemerkt sei hier, dass die Maximalwellen, also diejenigen Wellen, die auf den Diagrammen gewöhnlich den grössten Ausschlag hervorrufen, da ihre Periode meistens mit der Eigenperiode der üblichen Pendel-


I.
T = Periode in Sek.
t = Zeit in Min.

instrumente nahe zusammenfällt, bereits auf dem absteigenden Ast der Periodenkurve liegen. Von Wichtigkeit ist die Tatsache, dass in den Nachläufern, wo die Amplitude langsam bis zum gänzlichen Erlöschen abnimmt, die Periode durchaus konstant bleibt.

Während wir bei dieser Betrachtungsweise eine Konstanz der Periode in den Nachläufern feststellen können, findet Láska (18) bei anderer Einteilung des Bebenbildes für die Nachläufer (Nachstörung, end portion) noch drei Unterabteilungen. Er bezeichnet sie mit III_1, III_2, III_3. Er fasst dabei unter end portion den ganzen Rest des Bebens zusammen, der auf die Wellen grösster Amplitude, also auf die sog. Maximalwellen, folgt. Alle drei Abteilungen unterscheiden sich voneinander vor allen Dingen nach seiner Ansicht durch die Periode, derart, dass die längere Periode immer der kürzeren vorausgeht. Um sich von der Grössenordnung der gemessenen Perioden eine Vorstellung zu machen, führe ich nach einer Mitteilung von Professor Lagrange über Beobachtungen einiger Beben in Uccle (Mai 1902) einige Daten für die Perioden der end portion an. Er fand angenähert für den ersten Teil der Nachstörung eine Periode von 65 Sek., für den zweiten Teil von 45 Sek. und für den dritten Teil von 25 Sek. Láska selbst gibt keine eigenen Messungen an. Überhaupt hat er diesen Fall der Dreiteilung, wie er selbst mitteilt, nur in ganz wenigen Fällen beobachten können. Auch ich konnte in dieser ausgeprägten Form bei eigenen Messungen keine Bestätigung finden.

4. Vorbemerkungen zu den folgenden Periodenuntersuchungen der Nachläuferwellen.

Die folgenden Untersuchungen sollen, wie bereits angedeutet, vor allen Dingen die Nachläufer zum Gegenstand haben, also denjenigen Teil des Bebens, für den wir bereits eben bei einem Beispiel die Periodenkonstanz als eine wichtige Eigenschaft feststellen konnten. Schon bein flüchtigen Betrachten eines Bebendiagramms fällt es sofort auf, dass diese Phase die am schönsten ausgeprägten Sinuswellen des ganzen Bebens enthält, bzw. überhaupt ganz aus ihnen besteht. Ohne weiteres können wir also für diesen Fall die im Diagramm gemessenen Perioden als wahre Erdbebenperiode ansprechen. Wir wollen uns nun im besonderen fragen, mit welchen Perioden wir es in den Nachläufern im einzelnen zu tun haben, ferner, ob sich die Konstanz der Perioden wirklich in den Nachläufern bei allen Beben nachweisen lässt und endlich noch, ob die Konstante bei den einzelnen Beben ver-

schiedene Werte annehmen kann, oder ob sie bei allen denselben Wert zeigt.

Die Nachläuferwellen eines Bebens machen beim Betrachten des Diagramms durchaus den Eindruck, als wenn sie hervorgerufen seien durch einen Körper, der vielleicht durch das Erdbeben in Eigenschwingungen versetzt wurde, nun ruhig weiter schwingt, bis sich seine Schwingungsamplituden vermöge der Viskosität der Erde auf Null reduziert haben. Um unsere Vorstellungen zu fixieren, können wir bei diesem schwingenden Körper zunächst ganz allgemein vielleicht an irgend eine bestimmte Erdkrusteschicht denken. Bekanntlich ist ein jeder Körper fähig, Schwingungen mit bestimmten Perioden auszuführen. Wir nennen solche Schwingungen „freie" im Gegensatz zu den durch Einwirkung äusserer periodisch wirkender Kräfte hervorgerufenen „erzwungenen"Schwingungen, deren Periode mit der Periode der Kraft zusammenfällt. Das erste Beben, dessen Nachläufer ich untersuchte, war das Beben 06 Sept. 7. Die bei ihm gemessenen Perioden der Sinuswellen waren in zeitlicher Aufeinanderfolge diese (um die Perioden in Sek. zu erhalten, sind die angegebenen Zahlen mit 6 zu multiplizieren):

2,0	2,0	2,2	2,0	2,6	2,5	3,2	2,4	2,0	2,0	2,0	2,0
2,0	1,9	2,0	2,0	3,0	2,1	3,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
2,2	2,2	2,0	2,3	2,2	2,0	2,0	2,0	1,9	2,0	2,0	2,0
2,0	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	2,2	2,0	2,3	2,1	2,0	2,0
2,3	2,0	2,2	2,2	1,9	2,1	2,4	2,0	2 2,	2,2	2,0	2,0
3,2	2,0	2,0	2,1	2,1	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,2	2,0
2,4	2,0	2,8	2,1	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,3	2,0
2,2	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,3	2,4	1,9
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,4	2,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
2,0	3,0	2,0	1,8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,0
2,0	3,2	2,4	2,0	1,9	2,0	2,0	1,9	2,2	2,0	2,0	2,0
2,0	2,2	2,0	2,0	1,9	2,0	2,2	3,0	2,0	2,0	2,0	

Beim Durchgehen der Zahlenreihen erkennt man sofort, dass in den Nachläuferwellen dieses Bebens eine ausserordentlich grosse Periodenkonstanz mit Periode 12 Sek. als Häufungsstelle herrscht. Die anderen wenigen noch vorkommenden Perioden kommen gegen sie überhaupt nicht in Betracht. Besonders deutlich wird dies, wenn man sich in der früher angegebenen Weise ein Häufigkeitsdiagramm zeichnet.

Liess sich nun etwa allgemein von einer Periodenkonstanz in den Nachläufern bzw. von dieser soeben geschilderten bevorzugten Stellung der Periode 12 Sek. sprechen? In der Tat schien dem fast so! Das nächste Beben, das ich in dieser Hinsicht untersuchte, war das

Beben 1910 Mai 13. Wieder ergab sich hier dasselbe Bild, wie ich es bereits oben geschildert habe: zunächst innerhalb gewisser Grenzen das Auftreten verschiedener Perioden, die dann aber schliesslich von der Periode 12 Sek. vollständig abgelöst wurden. Etwas Neues bot jedoch das folgende Beben, das Beben 07 April 15. Die Perioden seiner Nachläuferwellen zeigen ein ganz anderes Aussehen als die der beiden eben erwähnten Beben. Zwar können wir auch in diesem Falle wieder von einer ausgesprochenen Periodenkonstanz sprechen, aber wir haben hier jetzt einen ganz anderen Wert der Konstanten zu verzeichnen als bisher. Wir finden nämlich, dass die Periode 12 Sek. bei diesem Beben überhaupt keine Rolle mehr spielt, dafür aber eine Periode von ca. 18 Sek. Zum Belege für diese Behauptung führe ich die vollständigen Messungen an. (Um die Perioden in Sek. zu erhalten, sind wieder die angegebenen Zahlen mit 6 zu multiplizieren.)

2,6	2,7	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,0	2,9	2,9
2,8	2,8	2,8	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	3,0	2,5	3,0
2,8	3,0	2,9	3,1	2,8	3,0	3,0	3,0	2,4	2,7	2,8	2,9
2,4	2,9	3,0	2,7	2,8	3,0	2,8	3,0	3,0	2,3	3,0	3,0
2,8	3,0	2,1	3,0	2,1	2,6	2,6	3,0	3,4	3,0	3,0	2,4
2,9	2,9	2,1	2,9	3,0	2,5	2,5	2,9	3,0	3,0	3,0	2,7
2,3	2,6	2,3	2,8	3,0	2,2	2,9	2,2	3,0	3,0	2,6	3,8
2,7	2,1	3,4	2,2	2,1	2,9	3,0	2,9	3,0	2,5	2,8	2,5
2,5	2,7	3,0	2,9	2,2	3,0	3,0	3,0	2,8	3,0	2,9	2,0
2,3	3,0	2,9	3,0	3,8	3,0	2,9	3,0	2,9	3,0	2,5	2,4
2,7	2,6	2,5	3,0	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0
2,4	2,2	2,9	3,0	2,7	2,8	3,0	2,9	3,0	3,0	2,9	2,9
2,2	2,3	2,9	3,0	3,0	2,9	3,0	3,0	2,9	3,0	2,9	3,1
2,8	2,8	3,4	3,0	3,0	3,0	2,4	3,0	2,9	3,0	2,5	3,0
2,8	3,2	3,0	3,0	3,0	2,0	3,2	2,7	2,8	3,0	2,5	3,0
2,0	2,7	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8	2,2	2,9
									2,9	2,4	3,0

Diese Tatsache, dass wir es bei den untersuchten Beben nicht immer mit dem Vorherrschen derselben Periode in den Nachläufern zu tun haben, wie sie sich auch bei anderen Beben analog den beiden eben zitierten Fällen wiederfindet, lassen wohl schon jetzt erkennen, dass die in den Nachläufern beobachteten Schwingungen weder als Eigenschwingungen einer über die ganze Erde ausgedehnten Gesteinsschicht, also etwa einer Kugelschale der Erde, erklärt werden können, noch auch durch Eigenschwingungen kleinerer Gesteinsschichten derart, wie sie vielleicht in den speziellen geologischen Verhältnissen der Beobachtungsstation gegeben sein können. Denn in beiden Fällen hätten wir voraussichtlich bei jedem Beben, woher es auch stammen möge, immer wieder dieselbe Periode ausgezeichnet finden müssen.

5. Die bei den Nachläuferwellen von 87 Fernbeben beobachteten Perioden.

Um nun unsere bisher gewonnenen vorläufigen Beobachtungen über das Hervortreten bestimmter Perioden in den Nachläufern zu befestigen bzw. zu erweitern, untersuchte ich systematisch die folgende Reihe von Beben:

Lfd. Nr.	Datum	Epizentrum	Nr. der Tabelle
1	1905: Mai 9	$\varphi = 20^0$; $\lambda = -104^0$	54
2	20	$\varphi = 42^0$; $\lambda = 42^0$	30
3	31	$\varphi = 21^0\,50'$; $\lambda = 117^0\,40'$	66
4	Juni 1	$\varphi = 42^0\,10'$; $\lambda = 19^0\,20'$	78
5	7	Nippon	4
6	12	$\varphi = -1^0\,12'$; $\lambda = 172^0\,57'$	19
7	14	$\varphi = -29^0\,40'$; $\lambda = -159^0\,20$	27
8	30	$\varphi = -1^0$; $\lambda = 168^0\,4'$	40
9	Juli 6	$\varphi = 24^0\,46'$; $\lambda = 142^0\,30'$	47
10	9	$\varphi = 50^0$; $\lambda = 98^0$	77
11	11	$\varphi = 50^0$; $\lambda = 106^0$	41
12	11	$\varphi = 35^0\,17'$; $\lambda = 131^0\,40'$	12
13	14	$\varphi = 55^0$; $\lambda = -120^0$	55
14	14	$\varphi = 45^0\,26'$; $\lambda = 105^0\,6'$	20
15	17	$\varphi = -23^0\,15'$; $\lambda = -171^0\,42'$	15
16	23	$\varphi = 47^0$; $\lambda = 110^0$	84
17	27	$\varphi = 11^0$; $\lambda = 125^0$	28
18	Aug. 25	$\varphi = 43^0\,4'$; $\lambda = 129^0\,28'$	2
19	Sept. 1	$\varphi = 41^0$; $\lambda = 141^0$	29
20	Sept. 8	$\varphi = 38^0\,50'$; $\lambda = 16^0\,6'$	80
21	15	$\varphi = 53^0\,20'$; $\lambda = 164^0\,27'$	79
22	26	$\varphi = 28^0\,48'$; $\lambda = 74^0\,6'$	21
23	Nov. 22	Tainan	5
24	1906: Jan. 21	Japan	56
25	31	$\varphi = 0^0\,50'$; $\lambda = -81^0\,32'$	37
26	Febr. 27	$\varphi = 31^0\,28'$; $\lambda = 72^0\,24'$	42
27	März 3	$\varphi = 21^0\,30'$; $\lambda = -75^0$	43
28	19	$\varphi = 68^0\,40'$; $\lambda = -17^0$	67
29	27	$\varphi = 26^0$; $\lambda = 120^0$	6
30	April 13	$\varphi = 23^0\,30'$; $\lambda = 120^0\,40'$	57
31	13/14	$\varphi = 23^0\,30'$; $\lambda = 120^0\,40'$	48
32	14	$\varphi = -19^0\,10'$; $\lambda = 169^0\,50'$	16
33	18	$\varphi = 37^0\,49'$; $\lambda = -121^0\,36'$	70
34	25	$\varphi = 6^0\,40'$; $\lambda = 127^0\,20'$	10
35	Mai 12	$\varphi = 22^0\,35'$; $\lambda = 91^0\,40'$	17
36	Juni 1	$\varphi = -1^0\,15'$; $\lambda = 143^0\,50'$	71
37	10	$\varphi = 17^0\,10'$; $\lambda = 90^0\,57'$	13
38	19	$\varphi = 19^0\,40'$; $\lambda = 122^0\,10'$	58
39	20	$\varphi = 13^0\,22'$; $\lambda = -89^0\,20'$	3
40	22	$\varphi = 16^0\,40'$; $\lambda = -94^0\,30'$	7
41	24	$\varphi = 15^0$; $\lambda = 92^0$	38
42	Juli 16	$\varphi = 10^0$; $\lambda = -86^0$	1
43	Aug. 17	$\varphi = -33^0\,2'$; $\lambda = -71^0\,39'$	44
44	19	$\varphi = -33^0\,2'$; $\lambda = -71^0\,39'$	22
45	25	$\varphi = 9^0\,5'$; $\lambda = 38^0\,40'$	—
46	25	$\varphi = 9^0\,5'$; $\lambda = 38^0\,40'$	49

Lfd. Nr.	Datum	Epizentrum	Nr. der Tabelle
47	26	$\varphi = -3^0\,45'$; $\lambda = 148^0\,41'$	59
48	Aug. 30	$\varphi = -21^0\,28'$; $\lambda = -70^0\,16'$	31
49	31	$\varphi = 34^0\,8'$; $\lambda = 103^0\,25$,	11
50	Sept. 7	$\varphi = 34^0\,17'$; $\lambda = 141^0\,25'$	60
51	14	Bismarckarchipel	68
52	Okt. 2	$\varphi = -3^0\,45'$; $\lambda = 148^0\,41'$	61
53	17	$\varphi = 18^0\,51'$; $\lambda = 121^0\,12'$	23
54	24	$\varphi = 39^0\,53'$; $\lambda = 68^0\,26'$	45
55	Nov. 8	$\varphi = 34^0$; $\lambda = 139^0$	—
56	14	$\varphi = -25^0\,24'$; $\lambda = 171^0\,33'$	32
57	Dez. 23	$\varphi = 59^0\,27'$; $\lambda = -170^0\,42'$	62
58	1907: April 15	Mexiko	69
59	Okt. 27	Taschkent	33
60	1908: Jan. 11	Formosa	18
61	15	Zentral-Nippon	8
62	März 5	Alëuten	73
63	26/27	Valparaiso	74
64	27	Chilapa (Mexiko)	65
65	Mai 15	$\varphi = 37^0\,27'$; $\lambda = 81^0\,43'$	50
66	Juni 3	Taschkent	63
67	Sept. 4	Schemacha	51
68	Nov. 6	$\varphi = 15^0$; $\lambda = 70^0$	34
69	11	Agusan river valley	24
70	1909; Juni 3	Padangtal (Sumatra)	85
71	9	$\varphi = 27^0$; $\lambda = -70^0$	9
72	Juli 30	Mexiko	72
73	31	Mexiko	35
74	Aug. 14	Zentral-Japan	39
75	1910: Jan. 22	Nördl. Island	75
76	März 30	$\varphi = -2^0$; $\lambda = 177^0$	25
77	Mai 31	Mexiko	26
78	Sept. 1	Formosa	14
79	6	Andalgalà (Argentinien)	46
80	24	$\varphi = 34^0$; $\lambda = -112^0$	36
81	1911: Jan. 3/4	$\varphi = 43^0$; $\lambda = 77^0$	82
82	Mai 4/5	Kamtschatka	64
83	Juni 7	Mexiko	81
84	15	$\varphi = 31^0$; $\lambda = 125^0$	76
85	Juli 12	$\varphi = 18^0$; $\lambda = 126^0$	83
86	Okt. 13	$\varphi = 51^0\,27'$; $\lambda = 144^0\,13'$	52
87	14	$\varphi = 55^0\,17'$; $\lambda = 178^0\,53'$	53

Die Liste gibt in der ersten Spalte die fortlaufende Nummer, in der zweiten Spalte das Datum, in der dritten Spalte die geographischen Koordinaten des Epizentrums des Bebens an. Die Zahlen in der vierten Spalte endlich sind die Nummern, unter denen sich die zu dem betreffenden Beben gehörigen ausführlichen Periodenmessungen der Nachläufer in der tabellarischen Zusammenstellung finden. Die folgenden Tabellen enthalten in der mit T bezeichneten Spalte die bei dem betreffenden Beben in den Nachläufern gemessenen Perioden-

zahlen — um die Perioden in Sekunden zu erhalten, sind die angegebenen Zahlen mit dem Faktor 6 zu multiplizieren — und in der mit n überschriebenen Spalte die Zahlen, welche angeben, wie oft die zugehörige Periode in den Nachläufern des betreffenden Bebens gemessen wurde; ferner enthalten sie noch die unter Berücksichtigung der Häufigkeit der verschiedenen Perioden gewonnenen Mittelwerte M. Soweit die Tabelle nicht schon alles über Konstanz und Häufigkeit der gemessenen Perioden aussagt, füge ich noch einige Bemerkungen hinzu über das, was mir bei der Bearbeitung der Diagramme als besonders charakteristisch erschien. Die Reihenfolge der einzelnen Bemerkungen entspricht der Numerierung der Zahlentabelle. Die hierbei in Klammern hinzugefügten Zahlen geben die Stelle an, an der das betreffende Beben in der chronologisch geordneten Liste zu finden ist.

1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.	
T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
2,4	3	1,8	3	2,7	2	2,0	2	1,8	2	1,8	2	2,6	1
2,5	4	1,9	2	2,8	6	2,1	1	1,9	2	1,9	3	2,7	2
2,6	1	2,0	8	2,9	2	2,2	2	2,0	8	2,0	11	2,8	4
M=2,5		2,2	1	3,0	9	2,3	1	2,1	2	2,2	2	2,9	2
		M = 2,0		M = 2,9		M = 2,1		2,2	1	2,5	1	3,0	4
								M = 1,9		M = 2,0		M = 2,8	

8.		9.		10.		11.		12.		13.		14.	
2,0	8	2,8	2	2,0	2	1,8	2	1,9	1	1,9	2	2,0	8
2,1	6	2,9	4	2,1	1	2,0	4	2,0	6	2,0	10	2,1	1
2,2	1	3,0	8	2,2	1	2,1	1	2,1	3	2,1	1	2,2	4
2,4	1	3,1	2	3,0	2	2,2	1	2,2	2	2,2	2	2,3	1
3,0	1	3,2	1	3,1	1	2,4	1	3,0	1	2,3	2	2,5	1
M = 2,1		M = 2,9		M = 2,5		M = 2,0		3,1	1	2,8	1	3,0	3
								M = 2,2		M = 2,1		M = 2,3	

15.		16.		17.		18.		19.		20.		21.	
2,8	1	2,2	1	1,2	1	1,8	1	2,5	1	1,4	1	1,8	2
2,9	3	2,5	1	1,8	2	1,9	2	2,9	1	1,5	1	1,9	2
3,0	21	2,8	4	1,9	2	2,0	18	3,0	9	1,6	1	2,0	15
3,1	1	2,9	3	2,0	7	2,2	3	3,1	2	1,8	2	2,1	3
3,2	3	3,0	27	2,2	2	2,3	1	3,2	1	2,0	13	2,2	2
3,6	1	3,1	1	2,4	1	2,8	1	3,5	1	2,2	2	2,3	2
3,8	1	3,2	3	2,8	1	2,9	2	3,9	1	2,4	1	2,6	1
M = 3,1		M = 3,0		M = 2,0		M = 2,1		4,0	1	2,7	1	3,0	1
								M = 3,1		M = 2,0		M = 2,1	

22.		23.		24.		25.		26.		27.		28.	
2,2	1	1,8	5	2,0	11	2,2	3	2,2	1	2,2	1	2,0	10
2,4	1	1,9	4	2,1	4	2,5	2	2,4	1	2,5	1	2,1	5
2,5	2	2,0	36	2,2	6	2,8	6	2,5	4	2,6	2	2,2	5
2,6	2	2,1	3	2,3	1	2,9	5	2,6	1	2,8	5	2,3	2
2,7	1	2,2	5	2,4	2	3,0	33	2,8	6	2,9	13	2,4	1
2,8	8	2,5	1	2,6	1	3,1	1	2,9	2	3,0	42	2,5	3
2,9	7	2,8	2	2,8	2	3,2	4	3,0	13	3,2	4	2,6	1
3,0	12	3,0	2	3,0	2	3,4	1	3,1	1	3,3	1	2,7	1
M = 2,7		M = 2,1		M = 2,2		M = 2,9		M = 2,8		3,5	1	3,0	2
										M = 3,0		M = 2,2	

29.		30.		31.		32.		33.		34.		35.	
T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
1,3	1	1,2	1	2,2	1	2,5	1	1,2	1	1,5	1	2,0	1
1,4	1	1,5	2	2,3	2	2,8	1	1,4	1	1,6	1	2,4	3
1,6	1	1,6	1	2,4	2	2,9	5	1,7	2	1,8	10	2,5	6
1,7	2	1,7	2	2,5	2	3,0	27	1,8	4	1,9	6	2,6	3
1,8	4	1,8	6	2,6	5	3,1	3	1.9	4	2,0	59	2,7	2
1,9	2	1,9	2	2,7	3	3,2	3	2,0	14	2,1	3	2,8	5
2,0	14	2,0	10	2,8	14	3,4	2	2,1	1	2,2	4	2,9	8
2,1	2	2,1	1	2,9	8	3,5	2	2,5	1	2,5	1	3,0	16
2,2	1	2,4	1	3,0	26	3,6	1	2,6	1	2,9	1	3,2	2
M = 1,9		M = 1,9		M = 2,8		M = 3,0		M = 1,9		M = 2,0		3,4	1
												M = 2,8	

36.		37.		38.		39.		40.		41.		42.	
2,0	1	2,4	1	1,9	3	1,7	1	2,7	1	1,8	5	1,4	1
2,3	2	2,5	3	2,0	17	1,8	3	2,8	1	1,9	1	1,6	1
2,4	1	2,6	2	2,1	2	1,9	2	2,9	5	2,0	20	1,9	4
2,5	2	2,7	1	2,2	7	2,0	27	3,0	40	2,2	6	2,0	32
2,7	2	2,8	4	2,3	1	2,2	1	3,1	3	2,3	1	2,1	2
2,8	3	2,9	2	2,4	2	2,4	1	3,2	8	2,5	1	2,2	7
2,9	4	3,0	17	2,5	1	2,7	1	3,3	1	2,6	1	2,3	4
3,0	8	3,1	1	2,8	1	2,8	1	3,4	3	2,7	1	2,4	1
3,1	2	3,2	2	2,9	1	2,9	1	3,5	2	2,8	3	2,8	2
M = 2,8		3,4	1	3,2	1	3,0	1	3,9	1	2,9	1	2,9	3
		M = 2,9		M = 2,2		M = 2,1		4,8	1	3,0	2	3,0	1
								M = 3,1		M = 2,2		M = 2,1	

43.		44.		45.		46.		47.		48.		49.	
2,0	2	2,2	3	1,0	1	2,0	1	1,9	1	1,5	1	1,5	1
2,2	2	2,3	2	1,8	2	2,1	3	2,0	34	1,8	2	1,8	1
2,3	3	2,4	2	1,9	2	2,2	5	2,1	3	1,9	7	1,9	1
2,4	7	2,5	9	2,0	19	2,3	3	2,2	10	2,0	35	2,0	14
2,5	11	2,6	3	2,1	6	2,4	3	2,3	2	2,1	5	2,1	4
2,6	4	2,7	4	2,2	6	2,5	2	2,4	7	2,2	6	2,2	4
2,7	3	2,8	10	2,3	2	2,6	1	2,5	2	2,5	2	2,3	1
2,8	4	2,9	20	2,4	1	2,7	1	2,6	1	2,6	1	2,5	4
2,9	8	3,0	22	2,5	2	2,8	8	2,8	7	2,7	1	2,8	4
3,0	6	3,1	1	2,6	2	2,9	10	2,9	3	2,8	2	2,9	3
3,1	2	3,2	2	3,0	3	3,0	11	3,0	1	2,9	5	3,0	1
M = 2,6		M = 2,8		M = 2,2		M = 2,7		3,4	1	3,0	3	3,2	1
								M = 2,2		M = 2,0		M = 2,3	

50.		51.		52.		53.		54.		55.		56.	
1,4	1	1,0	3	1,5	1	1,8	1	2,0	2	1,8	1	1,2	1
1,9	5	1,1	1	1,8	3	1,9	4	2,2	1	2,0	14	1,7	1
2,0	36	1,2	2	1,9	8	2,0	16	2,3	1	2,2	5	1,8	9
2,1	6	1,3	2	2,0	22	2,1	11	2,4	3	2,3	1	1,9	4
2,2	11	1,5	5	2,1	19	2,2	11	2,5	2	2,4	1	2,0	36
2,3	2	1,6	1	2,2	8	2,3	1	2,6	1	2,5	2	2,1	5
2,4	3	1,7	1	2,4	2	2,4	3	2,8	5	2,6	3	2,2	12
2,5	1	1,8	14	2,5	2	2,5	1	2,9	6	2,8	4	2,3	1
2,6	4	1,9	11	2,6	1	2,6	2	3,0	19	2,9	4	2,5	4
2,8	4	2,0	34	2,7	1	2,8	6	3,1	3	3,0	18	2,6	2
2,9	3	2,1	3	3,0	4	2,9	4	3,2	3	3,1	1	2,7	2
3,0	1	2,2	1	3,1	2	3,0	5	3,4	1	3,8	1	2,8	5
M = 2,0		M = 1,8		M = 2,1		M = 2,3		3,5	1	4,0	1	3,0	2
								M = 2,8		M = 2,6		M = 2,1	

57.		58.		59.		60.		61.		62.		63.	
T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
1,2	1	1,4	1	2,0	2	1,8	1	2,2	3	1,8	3	1,4	1
1,5	1	1,8	4	2,1	4	1,9	8	2,5	2	1,9	1	1,5	1
1,7	1	1,9	2	2,2	6	2,0	82	2,6	1	2,0	16	1,8	4
1,8	3	2,0	36	2,3	1	2.1	8	2,8	6	2,1	6	1,9	5
1,9	5	2,1	1	2,4	3	2,2	17	2,9	15	2,2	20	2,0	13
2,0	29	2,2	3	2,5	2	2,3	5	3,0	71	2,3	2	2,1	3
2,1	3	2,3	3	2,7	1	2,4	6	3,1	5	2,4	1	2,2	3
2,2	2	2,5	1	2,8	3	2,5	1	3,2	11	2,5	6	2,4	2
2,3	1	2,6	1	2,9	6	2,6	1	2,3	2	2,6	3	2,5	4
2,5	3	2,8	2	3,0	21	2,8	1	3,4	1	2,8	8	2,6	1
2,6	1	2,9	1	3,1	1	2,9	1	3,6	1	2,9	7	2,8	1
2,8	1	3,0	6	3,2	1	3,0	7	3,7	1	3,0	16	2,9	3
3,0	2	3,1	1	3,5	2	3,2	4	3,8	2	3,2	1	3,0	4
M = 2,1		M = 2,2		M = 2,7		M = 2,1		M = 3,0		M = 2,4		M = 2,2	

64.		65.		66.		67.		68.		69.		70.	
1,6	3	2,0	2	1,2	2	1,0	6	2,0	4	2,0	2	2,0	7
1,8	3	2,1	1	1,5	1	1,1	1	2,1	1	2,1	5	2,1	2
1,9	9	2,2	3	1,8	1	1,2	10	2,2	5	2,2	7	2,2	18
2,0	53	2,3	2	1,9	6	1,3	2	2,3	2	2,3	6	2,3	9
2,1	7	2,4	4	2,0	25	1,4	3	2,5	5	2,4	7	2,4	8
2,2	12	2,6	4	2,1	6	1,5	2	2,6	8	2,5	11	2,5	17
2,3	5	2,7	2	2,2	6	1,6	4	2,7	6	2,6	6	2,6	6
2,4	2	2,8	9	2,3	3	1,7	6	2,8	18	2,7	10	2,7	5
2,5	3	2,9	6	2,4	2	1,8	22	2,9	13	2,8	20	2,8	30
2,7	2	3,0	19	2,5	1	1,9	13	3,0	38	2,9	30	2,9	27
2,8	2	3,1	2	2,6	2	2,0	19	3,1	7	3,0	82	3,0	85
2,9	2	3,2	1	2,7	1	2,1	3	3,2	11	3,1	3	3,1	2
3,0	7	3,4	1	2,8	1	2,2	2	3,4	2	3,2	2	3,2	5
M = 2,1		3,8	3	2,9	2	2,6	1	3,5	1	3,4	3	3,5	1
		M = 2,8		3,0	1	2,8	1	4,0	2	3,8	2	3,9	1
				M = 2,3		M = 1,7		M = 3,1		M = 2,8		4,0	2
												M = 2,8	

71.		72.		73.		74.		75.		76.		77.	
2,2	1	2,0	4	1,8	1	2,0	3	1,0	1	1,5	2	1,9	1
2,3	1	2,2	4	2,0	16	2,1	2	1,1	1	1,7	2	2,0	2
2,4	1	2,3	2	2,1	2	2,2	7	1,3	1	1,8	6	2,1	1
2,6	2	2,5	12	2,2	10	2,3	8	1,4	1	1,9	6	2,2	2
2,7	3	2,6	6	2,3	1	2,4	4	1,5	1	2,0	49	2,4	1
2,8	9	2,7	5	2,4	5	2,5	10	1,7	1	2,1	9	2,5	3
2,9	17	2,8	12	2,5	4	2,6	8	1,8	10	2,2	20	2,6	2
3,0	83	2,9	12	2,6	5	2,7	3	1,9	9	2,3	8	2,7	1
3,1	2	3,0	38	2,7	1	2,8	41	2,0	19	2,4	7	2,8	7
3,2	5	3,1	1	2,8	6	2,9	29	2,1	3	2,5	4	2,9	4
3,3	1	3,2	5	2,9	17	3,0	66	2,2	2	2,6	3	3,0	42
3,4	2	3,5	1	3,0	40	3,2	8	2,3	1	2,7	3	3,1	1
3,5	1	3,6	1	3,1	1	3,3	1	2,5	1	2,8	4	3,2	11
3,8	1	3.7	1	3,2	1	3,4	1	2,7	1	2,9	1	3,5	1
3,9	3	3,8	1	3,4	1	3,8	2	2,8	1	3,0	6	3,8	5
4,0	1	4,0	1	3,5	1	4,0	2	2,9	1	3,2	1	3,9	2
M = 3,0		M = 2,8		4,0	1	4.9	1	3,0	5	4,0	2	4,0	5
				M = 2,7		M = 2,8		M = 2,8		M = 2,3		4,1	1
												M = 3,1	

78.

T	n
0,9	4
1,0	17
1,1	6
1,2	14
1,3	6
1,4	4
1,5	6
1,6	5
1,7	8
1,8	9
1,9	19
2,0	32
2,1	6
2,2	3
2,3	1
2,5	2
2,8	1
2,9	1

M = 1,6

79.

T	n
1,9	3
2,0	32
2,1	9
2,2	22
2,3	5
2,4	2
2,5	11
2,6	5
2,7	4
2,8	18
2,9	12
3,0	41
3,1	4
3,2	7
3,3	3
3,4	2
3,5	1
3,6	1
3,9	1

M = 2,6

80.

T	n
1,0	1
1,1	2
1,2	1
1,3	2
1,4	1
1,5	4
1,6	2
1,7	4
1,8	15
1,9	22
2,0	51
2,1	19
2,2	15
2,3	6
2,4	1
2,7	1
2,8	2
2,9	4
3,0	1
3,1	1

M = 2,0

81.

T	n
2,0	6
2,1	4
2,2	8
2,3	5
2,4	5
2,5	10
2,6	7
2,7	5
2,8	34
2,9	31
3,0	72
3,1	7
3,2	5
3,3	1
3,4	1
3,5	1
3,6	2
3,8	1
3,9	2
4,0	2

M = 2,8

82.

T	n
1,4	1
1,5	1
1,8	3
1,9	9
2,0	31
2,1	21
2,2	19
2,3	9
2,4	2
2,5	11
2,6	4
2,7	2
2,8	9
2,9	14
3,0	16
3,2	1
3,3	2
3,4	1
3,5	1
3,7	1

M = 2,3

83.

T	n
1,0	1
1,2	1
1,5	2
1,6	2
1,7	2
1,8	10
1,9	18
2,0	37
2,1	16
2,2	18
2,3	9
2,4	4
2,5	10
2,6	1
2,7	1
2,8	6
2,9	10
3,0	11
3,1	3
3,2	2
4,0	1

M = 2,2

84.

T	n
2,0	4
2,2	1
2,3	1
2,4	3
2,5	5
2,6	1
2,7	1
2,8	9
2,9	12
3,0	77
3,1	11
3,2	25
3,3	8
3,4	7
3,5	9
3,6	1
3,8	5
3,9	2
4,0	11
4,1	1
4,2	1
4,5	2

M = 3,1

85.

T	n	T	n	T	n	T	n
1,8	1	2,4	9	3,2	4	3,9	1
1,9	2	2,5	4	3,3	1	4,0	1
2,0	24	2,6	3	3,4	2	4,1	1
2,1	6	2,8	7	3,5	2	4,2	1
2,2	11	2,9	3	3,8	4	4,5	1
2,3	8	3,0	51				

M = 2,7.

6. Bemerkungen zu den einzelnen Beben hinsichtlich ihrer Nachläuferwellen.

Zu Nr. 3 und 7 (39, 40). Die Diagramme beider Beben sind einander sehr ähnlich.

7 siehe 3.

11 u. 60 (49, 50). Zwei mässige Beben aus Afrika mit einer mittleren Nachläuferperiode von 12 Sek.

20 (14). Die einzige Häufungsstelle der Nachläuferperioden dieses Bebens liegt bei 12 Sek. Manchmal schien es mir so, als wenn eine Neigung zu Perioden > 12 Sek. vorhanden sei, doch waren diese der Messung nicht zugänglich. Vielleicht ist für diese Beobachtung die seismische Bodenunruhe verantwortlich zu machen.

21 (22). Der etwas krause Eindruck, den die Nachläuferwellen machen, wird durch herrschende Bodenunruhe hervorgerufen.

27 (7). Ausserordentlich schön ausgeprägte Sinuswellen von fast ausschliesslich 18 Sek. Periode mit vielen schwebungsartigen Erscheinungen sind das Charakteristische an diesem Beben.

29 (19). Die Ausbildung der Nachläuferwellen ist bei diesem Beben nicht ganz regelmässig. Gleichwohl lässt sich Periode 12 Sek. noch gut als Häufungsstelle erkennen.

44 (43). Zwei Beben, von denen das zweite eine halbe Stunde später einsetzte als das erste, geben zu mancherlei Komplikationen Veranlassung. Gleichwohl wurde das allerletzte Ende der Nachläufer einer genaueren Messung unterzogen.

47 (9). Wir haben hier ein grösseres Beben vor uns. Die Periode 12 Sek. steht, was ihre Häufigkeit angeht, in den Nachläufern gegenüber den anderen noch vorkommenden Perioden entschieden im Vordergrund. Die übrigen Perioden besitzen weiterhin keine eigentliche Häufungsstelle mehr. Gegen Ende des Bebens macht sich plötzlich in den Nachläufern ein Anwachsen der Periode bemerkbar. Wir haben es hier mit dem Eintreffen der Gegenpunktswellen zu tun, Wellen, die die Erde einmal umkreist haben. Sie besitzen meistens die Periode 18 Sek. bis 20 Sek. Auch in diesem Falle. Doch soll hierauf später noch kurz eingegangen werden.

54 (1). Die Reihe der gemessenen Nachläuferperioden dieses kleinen Bebens zeigt uns, dass die Periode 18 Sek. die übrigen an Häufigkeit des Vorkommens bedeutend übertrifft. In Verbindung mit dieser Feststellung lässt der Gesamtmittelwert erkennen, dass gegenüber der häufigsten Periode von 18 Sekunden die unterhalb ihr liegenden eine grössere Rolle spielen, als die oberhalb ihr liegenden.

55 (13). Zwei Häufungsstellen bei 12 Sek. und 18 Sek. Periode charakterisieren die Nachläufer dieses Bebens.

56 (24). Die Periodenmessungen der Nachläuferwellen dieses Bebens werden durch herrschende Bodenunruhe gestört.

58 (38). Sehr schöne regelmässig ausgebildete Wellenzüge mit Schwebungen sind bei den Nachläufern bemerkenswert.

60 siehe 11.

62 (57). Die Regelmässigkeit der Nachläuferwellen hat unter ziemlich starker Bodenunruhe zu leiden.

63 (66). Das Auftreten von Schwebungen in den Nachläufern, die im allgemeinen bei diesem Beben etwas unregelmässig ausgebildete Wellenzüge enthalten, ist vielleicht bemerkenswert.

66 (3). Die Nachläuferwellen weisen eine ausgesprochene Häufungsstelle bei ca. 12 Sek. Periode auf. Im übrigen zeigt sich in den Nachläufern deutlich die Tendenz zu Perioden > 12 Sek. Demgemäss ergibt sich der Gesamtmittelwert mit 14 Sek.

67 (28). Die bei diesem Beben in den Nachläufern hervortretenden vielen kurzen Perioden sind vielleicht auf den störenden Einfluss der Bodenunruhe zurückzuführen.

68 (51). Die Nachläufer dieses, dem erhaltenen Diagramm nach zu urteilen, ziemlich heftigen Bebens sind leider durch sehr starke Bodenunruhe in ihrer Reinheit ein wenig beeinträchtigt.

70 (33). Die bei weitem am häufigsten auftretende Periode in den Nachläufern dieses Bebens ist 18 Sek. Daneben ist vielleicht nicht unwichtig zu bemerken, dass in den Perioden eine deutliche Neigung zu Werten < 18 Sek. besteht, sodass sich ein Mittelwert von ca. 17 Sek. ergibt. Der grösste obere Wert weicht von ihm um 7 Sek., der untere um 5 Sek. ab.

75 (75). Wegen Überlagerung sehr vieler kleiner Perioden ist die Messung der Nachläuferwellen nicht ganz einfach, zumal noch der störende Einfluss der Bodenunruhe ein wenig in Betracht kommt.

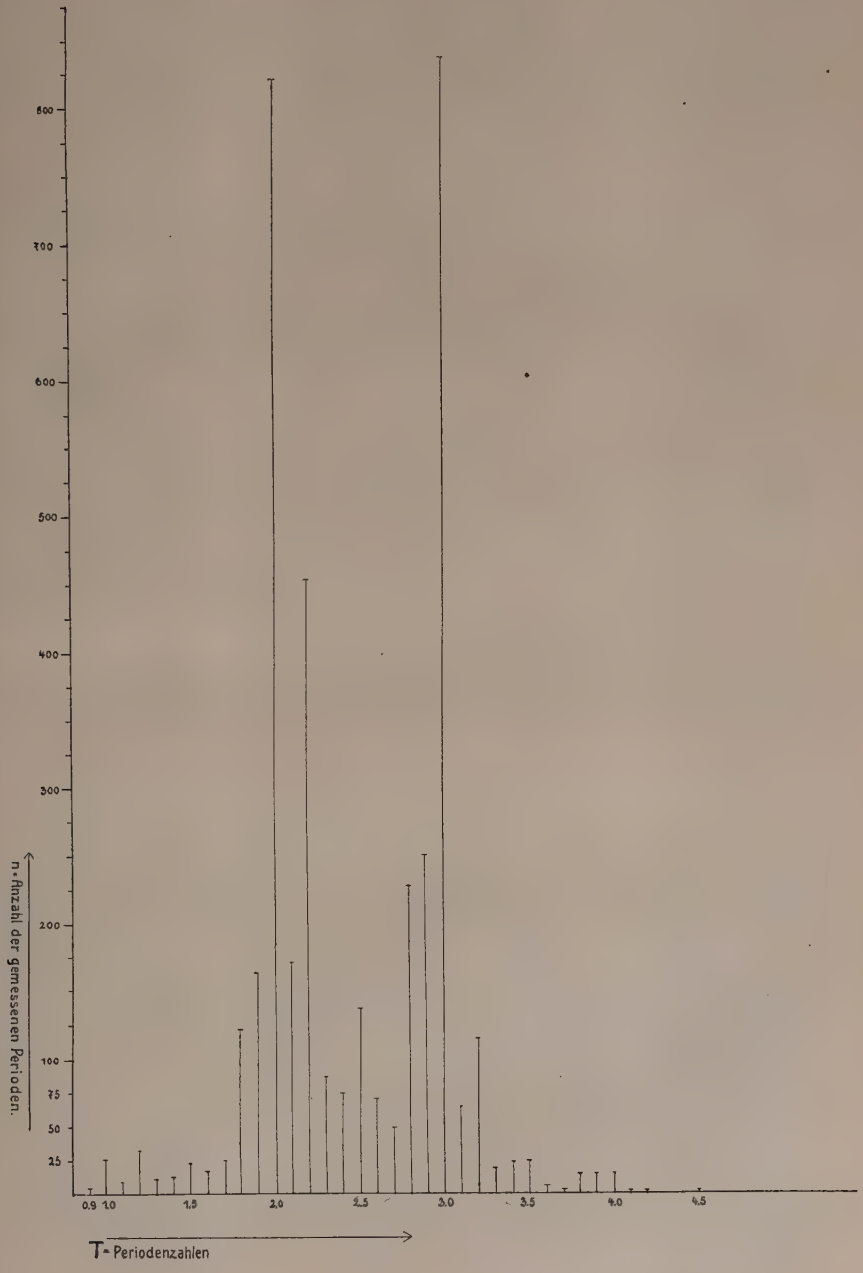
76 (84). Ganz gegen Ende der Nachläufer, die bisher eine deutliche Häufungsstelle bei 12 Sek. Periode gezeigt hatten, tritt plötzlich Anwachsen von Periode und Amplitude ein. Wir haben es auch hier wieder mit dem Auftreten der bei diesem Beben besonders kräftig ausgeprägten Gegenpunktswellen zu tun. Auf dem 100 kg-Pendel machen sich ganz gegen Schluss noch ca. eine Stunde lang andauernde Schwingungen von ausserordentlich grosser Periode (s. folgende Tab.) bemerkbar. Gemessen wurden

T_{sec}	n	T_{sec}	n	T_{sec}	n	T_{sec}	n	T_{sec}	n	T_{sec}	n
29	1	43	1	50	5	65	2	70	6	78	1
30	3	47	1	51	1	66	1	72	3	95	1
33	1	48	4	60	2	67	1	75	1	100	1
40	5	49	1	63	1	68	2				

$M = 57$ Sek.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass sich diese langperiodigen Wellen in den Nachläufern, die in diesem Falle noch zum grössten Teile von Wellen kürzerer Periode überlagert waren, bei keinem anderen Beben, mit Ausnahme vielleicht von 85 (16) nachweisen liessen, trotzdem das gesamte vom 100 kg-Pendel gelieferte Material in dieser Hinsicht einer genauen Durchsicht unterzogen wurde. Allerdings ist das Material, trotzdem das Pendel vom Oktober 1905 ununterbrochen

II.


800
700
600
500
400
300
200
100
75
50
25
n = Anzahl der gemessenen Perioden.
0.9
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
T = Periodenzahlen

registriert hat, keineswegs so gross, wie man annehmen sollte, da für die Untersuchung z. B. alle Beben in den Wintermonaten in Fortfall kamen, deren Diagramme besonders in den Nachläufern durch eine dann herrschende unregelmässige Bodenunruhe von ungefähr ¾—3 Minuten Periode, die mit dem Frost im Zusammenhang steht (10), stark gestört und daher für unsere Untersuchung unbrauchbar waren.

77 (10). Die Nachläufer dieses grossen Bebens machen, wie überhaupt das ganze Beben, einen komplizierten Eindruck; es ist im höchsten Grade wahrscheinlich, dass wir es mit einer ganzen Reihe von Stössen zu tun haben.

82 (81). Die Nachläufer weisen neben der Haupthäufungsstelle bei Periode 12 Sek. noch eine weitere Häufungsstelle bei ca. 18 Sek. Periode auf.

84 (16). Wie beim Beben 77 (10) das ungefähr vom gleichen Herde ausging, auch an Stärke hinter ihm nicht zurückstand, machen auch hier die Nachläuferwellen im allgemeinen einen etwas unregelmässigen Eindruck. Auffallend sind besonders die zu Beginn der Nachläufer auftretenden grösseren Perioden. Um $4^h\ 58^m$ tauchen einige sehr langperiodige Wellen auf (ca. 70 Sek.), die von den eigentlichen Nachläuferwellen überlagert sind. Wir haben es hier wahrscheinlich mit der Wiederkehr des Bebens zu tun.

87 (55). Dem Ende dieses Bebens ist wahrscheinlich noch ein zweites Beben überlagert.

Wenn man die einzelnen Periodenhäufungstabellen oder ihre graphische Darstellung betrachtet, so erkennt man zunächst, dass innerhalb der einzelnen Beben die Periode der Nachläuferwellen recht gut konstant bleibt meistens mit einer ausgesprochenen Häufungsstelle um eine bestimmte Periode. Als solche Perioden, die in dieser Hinsicht eine ausgezeichnete Stelle einnehmen, kommen Periode 12 Sek. bzw. Periode 18 Sek. in Betracht. Die anderen gleichfalls in den Nachläufern vorkommenden Perioden spielen diesen beiden gegenüber eine weniger bedeutende Rolle. Das geht aus folgender Tabelle bezw. deren graphischer Darstellung (s. Fig. 2 auf S. 227), deutlich hervor, welche die in den Nachläufern aller untersuchten Beben gemessenen Periodenzahlen des besseren Gesamtüberblicks wegen noch einmal zusammenfasst.

T	n	T	n	T	n	T	n
0,9	4	1,8	122	2,7	49	3,6	5
1,0	26	1,9	163	2,8	228	3,7	2
1,1	9	2,0	824	2,9	252	3,8	15
1,2	32	2,1	171	3,0	840	3,9	11
1,3	11	2,2	454	3,1	65	4,0	15
1,4	13	2,3	87	3,2	115	4,1	2
1,5	23	2,4	74	3,3	18	4,2	1
1,6	17	2,5	137	3,4	23	4,5	2
1,7	26	2,6	70	3,5	24	4,8	1

Zum Vorkommen der Periode 18 Sek. in den Nachläufern will ich noch erwähnen, dass sie identisch ist, mit der Periode, die E. Wiechert in den Maximalwellen sehr häufig in den Göttinger Diagrammen gefunden hat. E. Wiechert erklärt diese Periode von 18 Sek. in den Maximalwellen als Schwingung der ganzen Erdkruste bis zu der unter ihr befindlichen Magmaschicht, und zwar würde in diesem Falle die Grundschwingung für die Dicke der schwingenden Schicht eine halbe Wellenlänge der Scheerungswellen darstellen, da die untere Grenze als frei auf der Magmaschicht schwingend zu betrachten wäre. Die Teilchen der Schicht würden beim Schwingen horizontal hin und hergehen. Es würde sich eine Knotenfläche in der Mitte zwischen der unteren Grenze und der Erdoberfläche ausbilden.

7. Grund- und Oberschwingungen bei Erdbebenwellen unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse bei den Nachläufern.

Neben den grossen Maximis bei 12 Sek. und 18 Sek. Periode zeigt die Tabelle noch eine Reihe weiterer, wenn auch diesen gegenüber nur unbedeutend erscheinende Maxima. Es liegt nun ausserordentlich nahe, die vorkommenden Perioden zueinander in Beziehung zu setzen, und damit eine Erklärung für ihr Auftreten zu geben, indem man jenes Gesetz, nach dem irgend eine periodische Erschütterungsursache ausser Erschütterungen von dieser Periode auch noch solche von höherer harmonischer Ordnung veranlasst, auf ausgedehnte feste Körper anwendet, speziell in unserem Falle, eine Beziehung zwischen allen in den Nachläufern überhaupt vorkommenden Perioden herzustellen sucht, indem man sie als Grund- bezw. Oberschwingungen auffasst, wie sie etwa bei einer freien Schwingung der Erdrinde sich ausbilden könnten. Dieser Erklärungsversuch ist vielfach gemacht worden. Auch ich will kurz auf den Gedanken eingehen, trotzdem die Aussicht auf Erfolg mir nicht gerade gross erscheint. Wir stehen also jetzt vor der Beantwortung der Frage: lässt sich etwa aus den

gemessenen Perioden der Erdbebenwellen eine Schwingungsreihe, bestehend aus Grund- und Oberschwingungen aufbauen, deren Schwingungszahlen = reziproke Perioden sich verhalten, wie eine Reihe ganzer rationaler Zahlen. Um nun eine solche Schwingungsreihe nach dem vorliegenden Material zu konstruieren, sind wir zu verschiedenen Annahmen gezwungen, so z. B. darüber, was wir als Grund-, 1. oder 2. Oberschwingung, von der wir ausgehen, betrachten wollen. Wir nehmen also einmal aus rein äusserlichen Gründen als Grundschwingung die Periode 18 Sek. an. Bei Gültigkeit des erwähnten Gesetzes erhalten wir dann leicht folgende Schwingungsreihe:

1.	T	N
	18	5,56
	9	11,11
	6	16,67

In dieser Tabelle bedeutet N die Anzahl der Schwingungen in 100 Sek., T ist die dazu gehörige Schwingungsperiode in Sek. ausgedrückt.

Mit demselben Rechte könnte man aber auch die Periode 18 Sek. als erste Oberschwingung ansehen, es würde sich für diesen Fall dann folgende Schwingungsreihe ergeben:

2.	T	N	T	N
	36	2,78	7,2	13,94
	18	5,56	6	16,67
	12	8,33	5,2	19,45
	9	11,11		

Ebenso könnte ich mir weitere Schwingungsreihen berechnen, indem ich 18 Sek. als zweite bzw. dritte Oberschwingung auffasste.

Lege ich ferner die Periode 12 Sek. als Grund- bzw. erste Oberschwingung den Berechnungen zugrunde, so erhalte ich folgende Tabellen:

3.	T	N
	12	8,33
	6	16,67
	4	25,0

4.	T	N
	24	4,17
	12	8,33
	8	12,5
	6	16,67
	4,8	20,84

Tabelle 2 scheint noch am besten die gemessenen Perioden zu illustrieren. Doch besagt diese Tatsache nicht viel. Denn mit demselben Rechte kann ich noch eine beliebige Anzahl weiterer Schwingungsreihen konstruieren, die sich auf irgend eine andere, wenn auch minder häufig beobachtete Periode aufbaut. Denn dadurch, dass eine

Periode die häufigste ist, kann natürlich noch nicht entschieden werden, ob man von ihr wirklich als Grundschwingung auszugehen hat. Andererseits kann man, wenn man es darauf anlegt, alle gemessenen Perioden durch eine Schwingungsreihe als Oberschwingungen zu erklären, dies leicht erreichen, wenn man nur in diesem Falle die Periode der Grundschwingung gross genug annimmt. Mit welchem Rechte man dies tun kann, muss dahingestellt bleiben.

Um ev. noch weitere Stützpunkte für die Annahme einer Schwingungsreihe zu erhalten, untersuchte ich diese Beben noch hinsichtlich der Periode ihrer Nachläufer auf dem 100 kg-Pendel. Der Vorzug dieses Pendels besteht, wie bereits erwähnt, darin, dass es für grössere Perioden weitaus empfindlicher ist, als das 1200 kg-Pendel, dessen Registrierungen für gewöhnlich benutzt wurden. Es wurden zwar verschiedentlich längere Perioden in den Nachläufern beobachtet, doch hatten die Untersuchungen nicht das Ergebnis, die Resultate der aus den Aufzeichnungen des 1200 kg-Pendels gewonnenen Messungen noch wesentlich zu erweitern: eine weitere ausgesprochene Häufungsstelle für kleinere Schwingungszahlen wurde nicht gefunden.

Wir sahen bereits, dass im wesentlichen in gewissen Beben die Nachläufer von der Periode 12 Sek., andere wieder nur von 18 Sek. beherrscht wurden. Es wäre deshalb gut möglich, dass vielleicht innerhalb dieser Bebengruppen bezw. einzelner Beben selbst die Schwingungsreihen besser zum Ausdruck kommen würden, indem wir vielleicht von der Vorstellung ausgehen, dass etwa nur einzelne begrenzte Schichten der Erdrinde in jedem besonderen Falle schwingen. Aber auch mit dieser Annahme gelangt man zu keinem befriedigenden Resultat, wenn man die Konstruktion der Schwingungsreihe vornimmt, da sich in den Annahmen, die man machen muss, eine gewisse Willkürlichkeit nicht vermeiden lässt. Für die Nachläuferwellen war es mir also nicht möglich, das zu bestätigen, was z. B. Omori (30) behauptet. Nach seiner Ansicht gibt es eine ganze Reihe von Perioden in den Erdbebenwellen, die als seismische Konstanten betrachtet werden können, jedoch nicht für ein eng begrenztes Gebiet, sondern für die ganze Erdkruste. Sie finden sich nach Omori auf den Diagrammen aller Stationen wieder. Wenn P_1, P_2..... Perioden in Zeitsekunden bezeichnen, so gibt er folgende Gesamtübersicht seiner Messungen:

$P_1 = 4.3$	$P_2 = 8,6$	$P_{2,3} = 11,3$	$P_3 = 14,9$	$P_4 = 18.3$
$P_5 = 20,4$	$P_{5,6} = 22,6$	$P_6 = 25,7$	$P_7 = 28,5$	$P_{7,8} = 30,1$
$P_8 = 32,4$	$P_9 = 35,9$	$P_{10} = 42,0$	$P_{11} = 45,4$	$P_{12} = 49,4$
$P_{13} = 54,4$	$P_{14} = 59,0$	$P_{15} = 65,5$	$P_{16} = \ldots$	$P_{19} = 86,0$

Die Perioden, wie sie Omori zusammengestellt hat, befriedigen in erster Annäherung die Beziehung $P_1 = \frac{P_2}{2} = \frac{P_3}{3} = \ldots$

Die mit doppeltem Index versehenen genügen jedoch dieser Beziehung nicht. P_4 ist identisch mit der von E. Wiechert bei den Maximalwellen und von mir bei den Nachläuferwellen gleichfalls am häufigsten beobachteten Periode. Auffallend erscheint, dass die andere gleichfalls von mir in den Nachläufern ausserordentlich häufig beobachtete Periode von 12 Sek. bei Omori überhaupt nicht auftritt. Die ihr am nächsten kommende Periode Omoris ist 11,3 Sek. Diese erfüllt aber gerade die Beziehung $P_1 = \frac{P_2}{2} = \ldots$ nach Omori nicht. Nun könnte man vielleicht aus dem gänzlichen Fehlen der Periode 12 Sek. in Omoris Tabelle schliessen, dass die von mir beobachtete Periode von 12 Sek. nicht eine Schwingung der Erdkruste allgemein ist, sondern nur eine speziell der göttinger Beobachtungsstation eigentümliche, wie sie etwa durch deren geologische Lage bedingt sein könnte. Nach Omori soll es solche Stationseigenschwingungen tatsächlich geben (28). Dem ist in unserem Falle entgegenzuhalten, dass die Periode 12 Sek., wenn sie Stationsschwingung für Göttingen sein sollte, in allen Beben vorkommen müsste, zum mindesten könnte man verlangen, dass sie nicht manchesmal so ganz in den Hintergrund gestellt würde zugunsten anderer Perioden. Es mag dahingestellt bleiben, ob oder inwieweit der oben zitierten Tabelle Omoris wirklich eine allgemeine Bedeutung beizumessen ist, da die Art seiner Mittelbildung nicht ganz einwandfrei ist. Die Tabelle ist z. B. gewonnen durch Mittelbildung der vorkommenden Perioden aus sämtlichen Phasen zusammen. Das ist aber gewiss nicht gestattet, da man es ja in den einzelnen Phasen mit ganz verschiedenen Wellenarten zu tun hat. Ferner nimmt Omori eine nur ein einziges Mal gemessene Periode als vollwertig in die Schwingungsreihe auf.

Wie Omori, so glaubt auch Oddone (27) bei einer Untersuchung der Perioden bei Vor-, Haupt- und Nachbeben Schwingungsreihen feststellen zu können, die er ebenfalls als Schwingungen der ganzen Erdkruste erklärt. Die Tatsache, dass er bei allen von ihm untersuchten Beben dieselben Periodenmittel findet, legt diesen Schluss auch nahe. Um die Übereinstimmung in den Periodenmitteln zu zeigen, stelle ich hier in etwas veränderter Anordnung kurz seine Messungen zusammen.

I		II		IIIa		IIIb		IV	
T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
—	—	—	—	52	1,94	50	2,0	52,4	1,9
—	—	49,3	2,25	—	—	—	—	—	—
33	3,03	34,6	2.89	33,7	2,98	—	—	33,9	2,95
26,5	3,78	26,2	2,82	—	—	27	37	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	24	4,16
19,5	5,13	20,8	4,81	20,4	4,9	19	5,25	21,3	4,7
—	—	—	—	17,2	5,8	17	5,87	—	—
—	—	—	—	15,5	6,45	—	—	15,2	6,57
—	—	—	—	—	—	—	—	13,4	7,45
—	—	—	—	—	—	—	—	12,3	8,13

Wenn T wieder die gemessenen Perioden in Sek., N die Anzahl der Schwingungen in 100 Sek. bezeichnet, so gibt Tabelle I die Periodenmittel des Bebens 02 April 19, wie es von einem Vicentinischen Apparat in Rom aufgezeichnet wurde. Ebenso gibt Tabelle II die Daten des Alaskabebens 1900 Oktober 9, Tabelle III gibt die Registrierung des Bebens 01 März 25 nach einem in Padua gewonnenen Diagramme wieder und zwar IIIa für die EW-Komponente, IIIb für die NS-Komponente. Die drei Tabellen lassen, soweit das bei dem geringen Material überhaupt möglich ist, erkennen, dass hinsichtlich der registrierten Perioden eine Übereinstimmung der verschiedenen Komponenten eines bestimmten Bebens besteht. Ferner bemerken wir, dass im Mittel dieselben Perioden bei verschiedenen Beben aufgezeichnet werden, sowohl an derselben Station, als auch an zwei verschiedenen Stationen. Zu letzterem Punkte ist allerdings zu beachten, dass die Entfernung Rom-Padua zu gering ist, als dass man eine wesentlich andere Registrierung auf beiden Stationen erwarten könnte, etwa veranlasst durch die Verschiedenheit des geologischen Untergrundes beider Stationen. Die letzte Tabelle IV gibt die Periodenmittel aus 10 Beben. Es scheint allerdings, als wenn die vermutete Beziehung, dass sich auch für Erdbebenwellen die Schwingungszahlen wie ganze Zahlen verhalten, wenigstens annähernd erfüllt ist. Immerhin ist es jedoch auffällig, dass Omori, der z. B. das Beben 1900 Okt. 9 (Tab. II) gleichfalls untersucht (28), in seinen Periodenmessungen keineswegs mit Oddone übereinstimmt. Eine Schwingungsreihe lässt sich aus ihnen auch wohl kaum konstruieren. Er misst im Mittel in den einzelnen Phasen folgende Perioden:

P	S	M	C	P	S	M	C
1,5	—	—	—	—	19,6	—	—
3,7	—	—	—	—	—	21,4	—
—	7,8	7,5	—	—	—	—	22,0
—	—	—	8,6	—	24,8	25,0	—
—	—	—	9,6	—	—	28,6	—
14,2	—	14,6	—	—	—	35,7	—
—	—	18,2	—	—	—	44,7	—

Würde man die hier beobachteten Schwingungen als herrührend von Schwingungen der ganzen Erdkruste betrachten, so hätte man zu erwarten, dass eine gewisse Übereinstimmung zwischen Omori und Oddone herrschte. Für die beobachteten Schwingungsreihen sind aber vielleicht auch in gewisser Weise die Schwingungen der Instrumentenpfeiler usw. verantwortlich zu machen. Für diese hatte früher schon Kusakabe (15, 16, 17) das Auftreten von Schwingungen analog den Summen- und Differenzentönen experimentell bestimmt. Immerhin wird aber auch diese Tatsache allein kaum das Auftreten der in den Diagrammen beobachteten ganz langen Schwingungen erklären können. Diese Summen- und Differenzenschwingungen auch in den Diagrammen der Erdbeben nachzuweisen, hat Nagaoka (23, 24, 25) in mehreren Arbeiten unternommen. Da die von ihm selbst und Kusakabe ausgeführten Untersuchungen über die elastischen Eigenschaften der Gesteine bedeutende Abweichungen vom Hookeschen Gesetz ergeben hatten, so wendet er das Helmholtzsche Gesetz der Kombinationstöne nicht direkt auf Erdbebenwellen an, sondern in etwas abgeänderter Form. Bedeutet u die Verschiebung, so setzt er die Kraft $y = c_1 u + c_2 u^2$. Die Lösung dieser Differentialgleichung verlangt nun, wenn man erzwungene Schwingungen, etwa ausgehend von zwei Quellen mit den Frequenzen p und q betrachtet, dass ausser diesen und der freien Schwingung mit der Frequenz n, sich noch die ersten Obertöne, sowie die 12 Kombinationsschwingungen 2. Ordnung bemerkbar machen. Dies versucht er an der Hand von Omoris Messungen nachzuweisen. Er kommt dann zu dem Resultate, dass die bei einem und demselben Erdbeben vorkommenden Perioden der Vorläufer und der Hauptphase auf ein gewisses System von Schwingungszahlen zurückgeführt werden können. Die Schwingungen hängen im wesentlichen vom Anfangszustand der Erregung ab. Daneben kommen auch Fälle vor, in denen die Oberflächenwellen Schwingungen hervorrufen, die nur der betreffenden Beobachtungsstation eigentümlich sind. Das Auftreten der Summen- und Differenzenschwingungen führt Nagaoka auf die unvollständige Elastizität der jeweils zum Schwingen

veranlassten Gesteinsschichten zurück. Von theoretischen Überlegungen ausgehend, findet er in den Diagrammen von registrierten Erdbeben, dass der grösste Teil der Schwingungen in der Hauptphase erzwungener Natur ist. Da am Herd die erste Bewegung sicherlich auch zum grossen Teil erzwungen ist, so schliesst er daraus, dass die Hauptwellen auf ihrem Wege keine Änderung erleiden, das würde also heissen: die an der Station beobachteten Hauptwellen sind in gewissem Sinne eine direkte Reproduktion der erzwungenen Schwingungen am Herd. Als häufigste Perioden, die man sich nach seinen Angaben leicht berechnen kann, findet er in den Vorläufern 8—10 Sek., 17—19 Sek. und 27 Sek., in den Maximalwellen 18 Sek., eine Periode, die auch wir bereits des öfteren erwähnt haben, und daneben 31 Sek., 35 Sek. und ca. 23 Sek.

Während wir bisher die Periode der Erdbebenwellen insbesondere der Nachläuferwellen als Schwingungen der Erdkruste oder ihrer Teile zu erklären versuchten, bleibt uns noch die Möglichkeit, sie zu den freien Schwingungen der ganzen Erdkugel, auch etwa wieder als Oberschwingungen in eine gewisse Beziehung zu setzen. Für die freie Kugelschwingung der ganzen Erde, wie sie durch ein heftiges Erdbeben angeregt werden könnte, leitet K. Fuchs (6) auf rein theoretischem Wege eine Schwingungsperiode ab. Bei seinen Überlegungen zieht er nur die Elastizität, nicht aber die Gravitation in Rechnung. Das kann man auch ohne grosse Fehler zu begehen, ruhig tun, da auch in diesem Falle gewiss der Einfluss, den die Schwere ausübt, gegenüber dem der elastischen Eigenschaften verschwindend ist. Im übrigen nimmt er an, dass die Erde eine ruhende homogene Flüssigkeitskugel ist. Indem nun die gemachten Annahmen den wirklichen Verhältnissen der Erde entsprechend modifiziert werden, berechnet sich für die Dauer der freien Grundschwingung unserer Erde eine Periode von ca. 2 Stunden. Vorläufig hat jedoch diese Periode nur bedingten Wert, da sie auf ihre tatsächliche Existenz sich im Augenblicke aus den Diagrammen nicht so ohne weiteres ableiten lässt. Im übrigen ist sie aber viel zu gross, um die bei den Erdbeben wirklich beobachteten im Verhältnis zu ihr sehr kurzen Perioden als Oberschwingungen zu ihr erklären zu können.

Berechnet man sich nach Bromwich (4) für die freie Schwingung einer der Gravitation unterworfenen elastischen Kugel die Periode der Grund- und ersten Oberschwingung, so erhält man unter der Annahme der Steifigkeit des Stahls 55 Min. bzw. 35 Min., unter der Annahme der Steifigkeit von Glas 78 Min. bzw. 58 Min., im Mittel 67 Min. und

47 Min. Gestützt auf zahlreiche Flutmesserangaben findet Nagaoka (26) in den Explosionen, die der Krakataukatastrophe etwa einen Tag vorhergingen, mehrfach eine Periode von 67 Min. ausgeprägt. Er deutet sie im Sinne einer freien Kugelschwingung der Erde. Zur Erklärung für die in unserem Falle bei Erdbeben beobachteten Perioden kann sie aber auch aus den oben angeführten Gründen mit einigem Nutzen nicht herangezogen werden.

Für alle diese theoretischen Betrachtungen bedarf es immer, um sie durchrechnen zu können, wesentlicher Abstraktionen, damit die Verhältnisse nicht zu kompliziert werden. Die Resultate werden sich dementsprechend von der Wirklichkeit ziemlich weit entfernen. Zudem ist die Erde, wie in solchen Fällen meistens zur Vereinfachung angenommen wird, keineswegs homogen, sondern besteht aus verschiedenen konzentrischen Schichtflächen, innerhalb deren die Dichte beträchtlich variiert. Ebenso ist auch der Druck bedeutenden Änderungen unterworfen. Für die hierdurch auftretenden Spannungskräfte, die wir für die Berechnung einzuführen haben, ist uns aber gar kein Mass gegeben, höchstens der Grössenordnung nach. Ein Hauptmoment aber, das gegen die Annahme von Schwingungen der ganzen Erdkruste zur Erklärung der bei den Beben vorkommenden Perioden spricht, ist nach meinen Beobachtungen wohl, dass gewisse Beben in den Nachläufern wenigstens immer nur eine bestimmte Periode aufweisen, von der die anderer Beben wieder verschieden ist. Das Vorkommen von Oberschwingungen überhaupt in den Diagrammen soll keineswegs allgemein geleugnet werden. Gar oft ist der Fall beobachtet worden, dass eine Periode von einer anderen überlagert wurde, die im Verhältnis einer Oberschwingung zu ihr zu stehen schien. Einen weiteren Beitrag für die Existenz dieser Oberschwingungen im einzelnen lieferte jüngst Mintrop (22). Bei seinen Untersuchungen über die Ausbreitung der von den Massendrucken einer Grossgasmaschine erzeugten Bodenschwingungen beobachtete er das Auftreten von Oberschwingungen der geschilderten Art das eine Mal ausserordentlich deutlich, das andere Mal überhaupt nicht, selbst wenn die Maschine ihre Tourenzahlen nicht geändert hatte. Als Grund für diese Tatsache findet er schliesslich eine Abhängigkeit von der Orientierung der Schwingungsebene des registrierenden Pendels in bezug auf die Richtung der Gleitbahn des die Erdbodenschwingungen erzeugenden Motors. Dieses Resultat auf Erdbeben entsprechend angewandt würde dann vielleicht das Fehlen von Oberschwingungen bei gewissen Beben durchaus erklärlich erscheinen lassen.

Fassen wir die letzten Betrachtungen zusammen, so ergibt sich also, dass die für die freie Schwingungsperiode der Erde berechneten Zeiten sowie die Konstruktion von Schwingungsreihen unter Annahme der Schwingungen der Erdkruste bzw. einzelner ihrer Teile nur sehr bedingten Wert haben, wegen der für ihre theoretische Behandlung nötigen Abstraktionen und der Willkür in den Annahmen. Im einzelnen ist jedoch wohl mit der Existenz von Oberschwingungen zu rechnen. Für alle diese Überlegungen war Bedingung, dass wir es mit freien Schwingungen zu tun hatten. Was wir aber bei einem Beben als frei oder erzwungen anzusehen haben, steht zurzeit noch nicht fest. Nach Nagaoka hat es aber den Anschein, als wenn der grösste Teil der Schwingungen in den Vorläufern und der Maximalbewegung als erzwungen anzusehen ist, während die Nachläuferwellen wohl im wesentlichen frei schwingen. Aber gerade für die in dieser Phase auftretenden Perioden gab uns die Annahme einer Schwingungsreihe keine befriedigende Erklärung.

8. Abhängigkeit der Periode von der Epizentralentfernung.

Es ist auch versucht worden, die Verteilung der verschiedenen Perioden der Oberflächenwellen, speziell der Maxima, in Klassen von Beben darzustellen, die nach ihrer Herddistanz geordnet sind (1). Näher hierauf einzugehen, will ich mir für später aufsparen und jetzt nur eine kurze Bemerkung hierüber vorausschicken. Eine Abhängigkeit scheint allerdings zu bestehen, insofern als bei weit entfernten Beben sehr viel lange Perioden deutlich beobachtet werden. Diese Abhängigkeit von der Entfernung ist wohl nur scheinbar, zum mindesten aber ist sie nicht so zu deuten, dass etwa eine bestimmte Periode auf ihrem Wege Herd—Station, je weiter sie sich vom Ursprungsort entfernt, immer grösser und grösser wird. Vielmehr ist die Erklärung wohl folgende: Da die Schwingungen, die ein Erdbeben hervorruft, niemals einfacher Natur sind, so wird dadurch schon an und für sich die Messung einzelner Perioden ausserordentlich erschwert. Besonders gilt dies für kräftige nähere Beben. Hier sind die ev. zugrunde liegenden langen Perioden infolge der starken Überlagerung von Wellen kürzerer Periode häufig überhaupt gar nicht zu erkennen bzw. nur schwer wirklich zu messen. Auf den langen Wegen nun macht sich die Absorption bei den Wellen kurzer Periode stärker bemerkbar als bei den Wellen langer Periode. Hätten ferner die Wellen längerer Periode eine grössere Geschwindigkeit als die kürzerer Periode, so würden Sie diesen

um so mehr vorauseilen, je weiter das Beben von der Beobachtungsstation entfernt ist. Auf diese Weise würde es sich erklären, dass für die Maximalwellen die langperiodigen Wellen gegenüber den kürzer-periodigen Wellen im Verhältnis um so mehr eine Rolle spielen werden, je grösser die Entfernung ist. Diese Abhängigkeit von der Entfernung auf die Perioden der Nachläuferwellen zu übertragen, etwa so, dass der Herd aller derjenigen Beben, welche die Periode 18 Sek. als Häufungsstelle in den Nachläufern enthalten, weiter entfernt ist, als der Herd eines Bebens mit Perioden von 12 Sek., ist jedoch nicht angängig. Denn wir finden Beben aus ein und derselben Entfernung mit 12 Sek. bezw. 18 Sek. als häufigste Periode in den Nachläufern. Einige besonders deutliche Beispiele will ich hier anführen. Man kann sich aber leicht noch mehr an der Hand der Tabellen zusammenstellen. Insbesondere aber lassen sich in dieser Hinsicht, wie wir noch später genauer erkennen werden, die grosse Anzahl der japanischen und amerikanischen speziell mexikanischen Beben, also Beben von zwei der bedeutendsten Erregungszentren, unter keinen Umständen hinsichtlich der Periode ihrer Wellen in eine Abhängigkeit nur von der Epizentralentfernung bringen.

No.	Datum	Entfernung km	Häufungsperiode Sek.
1	05: Juli 11	5800	12
2	9	5800	18
3	06: Nov. 8	9000	12
4	07: April 15	9000	18
5	10: Mai 13	10000	12
6	08: Nov. 6	8400	12

Diese Angaben der Tabelle machen weitere Worte über diesen Punkt überflüssig.

9. Abhängigkeit von der geographischen Lage des Epizentrums.

Die ausführlichen Periodenmessungen der Nachläuferwellen bei den verschiedensten Beben setzten uns in den Stand, die bereits anfangs getroffene Einteilung der untersuchten Beben im wesentlichen in zwei grosse Gruppen, nämlich solche mit 18 Sek. und solche mit 12 Sek. Periode als Häufungsstelle in den Nachläufern, durchaus aufrecht zu erhalten. Wenn wir nun eben eine Abhängigkeit der Nachläuferperioden nur von der Entfernung des Herdes als nicht bestehend

nachweisen konnten, so war zu vermuten, dass alle die Beben, welche bei gleicher Entfernung des Herdes diese Verschiedenheit der Periode in den Nachläufern zeigten, auch einen voneinander verschiedenen Herd selbst hatten. Um nun diesen Gedanken, dass die Nachläuferwellen der Art der vorkommenden Perioden nach eine gewisse Abhängigkeit vom Herd zeigten, allgemein näher zu verfolgen, trug ich einmal die Herde sämtlicher von mir durchgemessener Beben in eine Weltkarte ein und markierte sie durch entsprechende Zeichen + oder ⊕, je nachdem von dem betreffenden Herde ein Beben mit 12 Sek. oder 18 Sek. Periode als Häufungsstelle in den Nachläufern ausgegangen war. Da bot sich nun ein überraschender Anblick! (siehe Fig. 3 a und b, auf den S. 240 und 241). In der Tat sehen wir auf den ersten Blick, dass das Vorkommen der Nachläuferperioden 12 Sek. bezw. 18 Sek. an Beben aus ganz bestimmten Gegenden gebunden zu sein scheint. Im grossen ganzen erkennt man, dass für Europa und Asien, vor allen Dingen aber für Japan und die chinesischen Küstenstriche, die Periode 12 Sek. bei allen Beben die entscheidende Rolle in den Nachläufern spielt. Demgegenüber werden die Beben aus ganz Amerika und den Südseeinseln ausschliesslich von der Periode 18 Sek. in den Nachläufern beherrscht. Zur Vertiefung dieser Anschauungen wollen wir jetzt einmal im einzelnen folgende für sich charakterisierte Bebengruppen betrachten.

Beben mit einem Herd in der Südsee.

In diese Gruppe rechne ich die Beben Nr. der Liste 6, 7, 8, 15, 33, 37, 48, 52, 53, 57, 77. Die gewonnenen Diagramme dieser Beben zeichnen sich, wenn sie frei von störenden äusseren Einflüssen sind, gemeinsam in den Nachläufern durch besonders schön ausgebildete glatte Sinuswellen von fast ausschliesslich 18 Sek. Periode aus. Der Gesamtmittelwert fällt daher auch meistens direkt auf diese Periode bzw. wird er nur selten um ein weniges vergrössert. Da nun die summarische Zusammenfassung der Perioden wohl ein gutes Bild von den Häufungsstellen und den ausser ihnen noch vorkommenden Perioden gibt, der zeitlichen Aufeinanderfolge aber natürlich nicht gerecht zu werden vermag, so will ich als typisches Beispiel für diese Gruppe die Periodenmessungen des Bebens 05 Juni 14 ausführlich wiedergeben. Die folgenden Periodenzahlen sind wiederum mit 6 zu multiplizieren, um die Periode in Sek. zu erhalten.

2,9	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	3,0	2,8	3,0
2,9	3,0	3,0	3,0	2,6	2,9	2,9	2,8	3,0	3,0
3,0	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3 3
3,0	3,0	2,9	3,0	3,0	3,0	2,6	3,0	3,0	3,0
3,0	2,8	2,9	3,0	3,0	2,9	3,5	2,8	3,0	3,0
3,0	2,9	2,9	3,0	3,2	3,0	3,0	3,2	3,0	3,0
2,2	2,9	3,0	3,0	3,2	2,8	3,0	3,0	3,2	2,9

Fig. 3 a.

Wir wenden uns nun zu einer anderen Gruppe von Beben, nämlich zu den

amerikanischen Beben.

In diese Gruppe fasse ich zusammen die Beben Nr. 1, 25, 27, 34, 40, 41, 44, 45, 49, 59, 64, 65, 72, 73, 74, 78, 80, 81, 84.

Charakterisiert werden auch alle diese Beben dadurch, dass in ihren Nachläuferwellen durchweg die Periode 18 Sek. die ausschlaggebende Rolle spielt. Gegen die eben besprochene Gruppe jedoch

zeichnen sie sich besonders dadurch aus, wie die Messungen erkennen lassen, dass ihre Nachläuferperioden die Tendenz haben, Werte anzunehmen, die eher etwas unterhalb der Grenze liegen, wie sie Periode 18 Sek. zieht, als oberhalb. Auf die ausführliche Wiedergabe der Messungen eines Bebens, das uns die Eigenschaften dieser Gruppe be-

Fig. 3 b.

sonders gut charakterisiert, will ich an dieser Stelle verzichten, da ich bereits die Daten des Bebens 07 April 15, die hier etwa in Betracht kommen könnten, früher ausführlich wiedergegeben habe (s. S. 218). Der Herd dieses Bebens liegt in Mexiko. Dasselbe Bild, das wir von den Perioden der Nachläufer eben gewonnen haben, zeigt sich uns auch für Südamerika, wie besonders die Valparaiso- und Arikabeben erkennen lassen.

Hiermit haben wir die beiden Hauptbebengruppen als Repräs-

sentanten für die Nachläuferperiode 18 Sek. besprochen und wenden uns nunmehr denjenigen Beben zu, die sich in den Nachläufern durch das Überwiegen der Periode 12 Sek. auszeichnen.

Die ostasiatischen (japanischen) Beben.

In diese Gruppe rechne ich die Beben Nr. 3, 5, 12, 17, 18, 19, 23, 24, 29, 30, 31, 32, 36, 38, 39, 42, 50, 51, 54, 56, 61, 62, 66, 69, 70, 75, 79, 83, 85.

Während vorher Periode 12 Sek. nur ganz sporadisch auftrat gegenüber der Periode 18 Sek., sind jetzt die Verhältnisse in dieser Beziehung gerade umgekehrt. Als Charakteristikum für diese Bebengruppe haben wir festzustellen, dass ihre Nachläuferwellen die Periode 12 Sek. in überwiegendem Masse aufweisen. Die Häufungsstelle um diese Periode ist ausserordentlich dicht, der Mittelwert weicht meistens auch nur um weniger als + 1 Sek. von 12 Sek. ab. Um auch für diese Gruppe ein ausführliches Beispiel zu geben, verweise ich auf die bereits zitierten Messungen der Nachläuferwellen des Bebens 06 Sept. 7 (s. S.217). An ihnen treten die charakteristischen Eigenschaften dieser Gruppe, soweit sie nicht die Tabellen schon geben, besonders schön hervor.

Die nächsten Beben fasse ich unter dem Namen

sibirische Beben

zusammen. Gemeint sind die Beben Nr. 10, 11, 14, 16, 22, 26, 55, 60, 67, 82.

Es sind dies alle nichtjapanischen Beben, deren Herd sich auf dem asiatischen Festlande befindet. Alle untersuchten Beben weisen fast durchweg in den Nachläufern die Periode 12 Sek. auf. Es treten bei denjenigen Beben, deren Epizentralentfernung nicht sehr gross ist, auch einige kürzere Perioden hinzu, wenn sie auch gerade nicht in den Vordergrund treten. In diesen Fällen ergibt sich dann ein Mittelwert, der kleiner ist als 12 Sek.

Unter den Beben dieser Gruppe befinden sich auffälligerweise drei, die in den Nachläufern deutlich Periode 18 Sek. aufweisen, während Periode 12 Sek. bei ihnen weniger hervortritt. Diese Tatsache ist deshalb einigermassen beachtenswert, da sich unter den anderen Beben dieser Gruppe einige finden, die von dem nahezu gleichen Herd stammen, wie die eben erwähnten, aber in den Nachläufern Periode 12 Sek. zeigen. Bemerkt sei hierzu vorläufig noch, dass gerade die Beben mit 18 Sek. Periode in den Nachläufern sehr heftig gewesen sein müssen,

da die Apparate in Göttingen bei der Registrierung der Maximalbewegung mehrere Minuten heftig an die Arretierung angeschlagen haben, während die Beben dieser Gruppe mit 12 Sek. Periode in den Nachläufern die Erscheinung nicht aufweisen, also wohl wesentlich schwächer gewesen sind.

Wir wenden uns nun noch kurz der Besprechung einiger weiterer Beben zu.

Alëutenbeben.

Als solche bezeichne ich Nr. 21, 58, 63. Leider ist das brauchbare Material hier besonders gegenüber den vorigen Gruppen nur sehr gering, immerhin lässt es doch vielleicht einiges Charakteristisches erkennen. Alle diese Beben zeigen in der summarischen Zusammenstellung ihrer Nachläuferperioden, dass die Periode 12 Sek. mit der Periode 18 Sek. um die grösste Häufigkeit streitet. Charakteristisch für diese Bebengruppe scheint aber, dass nicht etwa, wie man vielleicht nach der summarischen Zusammenstellung annehmen könnte, zeitlich zuerst Periode 12 Sek. allein auftritt und dann von Periode 18 Sek. abgelöst wird, sondern dass beide Perioden abwechselnd in den Nachläufern eines Bebens auftreten. Wie dies gemeint ist, werden am besten wieder die in zeitlicher Aufeinanderfolge vollständig wiedergegebenen Messungen des Bebens 06 Dez. 23 illustrieren:

2,5	2,9	2,4	2,1	2,9	1,8	2,2	3,0	2,2	2,2
2,2	2,2	2,3	2,5	2,8	2,2	2,2	3,0	3,0	2,8
2,2	2,0	2,2	2,0	2,2	3,0	2,2	2,2	2,9	2,1
2,0	1,9	2,1	2,0	2,5	3,0	2,0	2,8	2,8	2,8
2,2	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	2,5	2,2	2,6	2.2
2,6	1,8	2,1	2,0	2,0	2,3	2,5	3,0	2,2	2,9
2,0	2,0	2,1	2,5	1,8	2,9	3,0	3,0	3,2	2,2
3,0	2,9	3,0	2,8	2,0	2,8	3,0	2,6	3,0	2,2
3,0	3,0	2,2	2,2	2,9	3,0	2,8	2,1	2,0	2,5

Besonders betonen will ich noch, dass das erste Auftreten der Periode 18 Sek. nicht zu verwechseln ist mit dem Eintreffen der Gegenpunktswellen, sondern viel früher geschieht.

Eine ähnliche Stellung, wie die Beben der eben besprochenen Gruppe, scheinen Nr. 9, 71 einzunehmen. Sie zeigen in den Nachläufern gleichfalls ein Vorherrschen der Periode 18 Sek. Neben dieser treten aber deutliche Wellen von 12 Sek. Periode auf. Wenn es auch scheint, dass diese wieder einen neuen Bebentyp bilden, der bedingt ist durch die geographische Lage ihres Epizentrums, so kann man das doch nicht mit Sicherheit auf Grund nur dieser zwei Beben behaupten.

Ich erwähne noch, dass die beiden kleinen afrikanischen Beben Nr. 45, 46 im wesentlichen Periode 12 Sek. zeigen, ebenso das Islandbeben Nr. 75.

Endlich fasse ich die vier Beben 20, 28, 2 und 4 in eine letzte Gruppe zusammen. Es sind dies vier nähere Beben, deren Nachläufer verhältnismässig gut ausgeprägt sind. Im allgemeinen drängen sich, je näher der Herd eines Bebens bei der Station liegt, um so mehr die verschiedenen Phasen zusammen. Man findet in Göttingen selten bei Nahbeben gut ausgeprägte Nachläufer. Die Nachläufer der letzten zitierten Beben zeigen fast alle die Periode 12 Sek. als vorherrschend, bzw. geringere Perioden. Bei Beben Nr. 4 tritt zu der Häufungsperiode 12 Sek. noch eine weitere bei ca. 6 Sek. Periode hinzu.

10. Bemerkungen zu 9; Einfluss des Wellenweges und der Bebenstärke auf die Wellenperiode.

Wie aus diesen Untersuchungen über die Perioden der Nachläuferwellen hervorgeht, ist dem Auftreten bestimmter Perioden eine gewisse Gesetzmässigkeit, die anscheinend mit dem Epizentrum des Bebens in irgend einem Zusammenhang steht, keineswegs abzusprechen. Diese Gesetzmässigkeiten können unter Umständen besonders für eine einzelne Beobachtungsstation bei Aufsuchung des Bebenherdes wertvolle Dienste leisten. Von Interesse, wenigstens für alle Stationen, die sich in derselben Lage wie Göttingen befinden, ist in dieser Hinsicht ein kurzer Vergleich der japanischen mit den mexikanischen Beben. Die Entfernung von Göttingen, die durch die Laufzeitkurve z. B. aus der Zeitdifferenz des Eintreffens der transversalen und longitudinalen Wellen gegeben ist, ist für beide Bebenherde ungefähr dieselbe. Andere Herde als diese zwei kommen für Beben aus dieser Entfernung so gut wie gar nicht in Betracht. Es lässt sich nun in dem Falle, dass wir ein Beben aus der kritischen Entfernung haben, ohne eine Herdberechnung vornehmen zu müssen, lediglich aus dem gewonnenen Diagramm selbst auf Grund der Beobachtung der in den Nachläufern vorherrschenden Perioden — in diesem Falle 12 Sek. oder 18 Sek. — mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit erkennen, ob das betreffende Beben in Japan oder Amerika stattgefunden hat. Natürlich wird hierdurch eine genaue Herdberechnung nicht ersetzt werden. Für die meisten seismischen Zwecke wird man sogar ohne sie überhaupt nicht auskommen können. Aber es ist doch schon ein grosser Vorteil, wenn man auf einem anderen Wege, hier mit Hilfe der Nachläufer-

perioden, gewisse Anhaltspunkte für die genauere Herdberechnung hat. Von welcher Bedeutung dies ist, zeigte das Beispiel des Bebens 11 Juni 15. Für dieses Beben berechnete sich aus den Ankunftszeiten der ersten und zweiten Vorläufer eine Entfernung von ca. 9000 km also ein Herd, welcher der Entfernung nach in Japan oder Amerika liegen konnte. Das Beben war ganz aussergewöhnlich kräftig. Diese Umstände, sowie die Tatsache, dass wenige Tage vorher in Mexiko ein verheerendes Beben stattgefunden hatte, legten verschiedentlich die Vermutung nahe, dass auch der Herd dieses Bebens dorthin zu verlegen sei. Es war dies, wie gesagt, nur eine Vermutung, die Gründe, die dafür sprachen, waren keineswegs stichhaltig. Wie haltlos die Vermutung war, zeigte die mit Hilfe der Angaben mehrerer Stationen unternommene Herdberechnung von Zeissig (37). Er fand für die Koordinaten des Herdes in guter Übereinstimmung der Stationen $\varphi = 31^0$; $\lambda = 125^0$, also nicht Amerika, sondern gerade Japan. Diese Frage, ob Amerika oder Japan, hätte sich nun vorher ohne weitere Berechnung durch einen Blick auf die Perioden der Maximalwellen bzw. vor allen Dingen der Nachläuferwellen direkt entscheiden lassen zugunsten Japans. Denn die Nachläuferwellen dieses Bebens zeigen eine deutliche Häufungsstelle um die Periode 12 Sek. Als Amerikabeben hätten wir eine Periodenhäufungsstelle um 18 Sek. finden müssen, andernfalls wäre dieses Beben unter allen amerikanischen die einzige Ausnahme gewesen. Bei flüchtiger Betrachtung, namentlich der allerletzten Wellen dieses Bebens scheint es allerdings, als wenn in dem letzten sehr ausgedehnten Wellenzuge im wesentlichen Periode 18 Sek. herrscht. Die absolute Vorherrschaft der Periode 12 Sek., die bis zum Eintreffen dieses Wellenzuges bestanden hatte, wird ihr von den 18sekundigen Wellen plötzlich streitig gemacht. Es würde also die Tatsache von unserer bisher vertretenen Anschauung über die Nachläuferwellen eine entsprechende Modifikation verlangen. Doch, wie wir gleich sehen werden, haben wir es bei diesen ganz zuletzt auftretenden Wellen von 18 Sek. Periode garnicht mit unseren Nachläuferwellen zu tun. Vielleicht werden wir wohl nicht fehlgehen, wenn wir diesen plötzlichen Sprung der Periode von 12 Sek. auf ca. 18 Sek. ganz auf Rechnung der Gegenpunktswellen setzen, die die Erde einmal umkreist haben, dabei durch den Gegenpunkt des Herdes gegangen sind und nun zum zweitenmal die Station passieren. Berechnet man sich nämlich für dieses Beben ihre Ankunftszeit, so erhält man gerade hierfür denselben Zeitpunkt, zu dem sich auch der eben beschriebene plötzliche Wechsel in der Periode vollzieht. Wir werden

später allgemein sehen, dass diese Periode von ca. 18 Sek. eine Eigentümlichkeit der Gegenpunktswellen fast aller Beben ist. Das eben betrachtete Beben ist nur ein besonders schönes Beispiel hierfür. Da ausserdem das Hauptbeben sehr heftig war, so sind naturgemäss auch die Gegenpunktswellen entsprechend kräftig ausgebildet. Infolgedessen kommen die eigentlichen 12sekundigen Nachläuferwellen, die schon beim Eintreffen der Gegenpunktswellen stark an Energie eingebüsst hatten, von diesem Augenblicke an neben den grösserperiodigen und energiereicheren Gegenpunktswellen so gut wie garnicht mehr zur Geltung. Eines weiteren Beispiels will ich noch Erwähnung tun. Der Herd des Bebens 06 Okt. 17 war von anderer Seite mit den Koordinaten $\varphi = 21^0$; $\lambda = -104^0$ ausgestattet worden. Auch dieses Beben wäre, wenn nicht alle Anhaltspunkte getrogen hätten, aus der Reihe der amerikanischen Beben, in die es gemäss den eben angegebenen Koordinaten gehörte, auf Grund seiner Nachläuferperioden vollkommen herausgefallen. Der angegebene Herd schien mir aber noch weiter verdächtig, als ich, ihn zugrundelegend, die mit Hilfe des cos-Satzes berechneten Entfernungen Herd—Station den mit Hilfe der Laufzeitkurve aus S-P gewonnenen gegenüberstellte. Es ergaben sich nämlich auf diese Art für einzelne Stationen zwischen berechneter und beobachteter Entfernung Differenzen von einigen tausend Kilometern. Die Erklärung für diese Abweichungen, dass einzelne Stationen die Phasen im Diagramm falsch angesprochen hätten, schien mir unwahrscheinlich, da unter den benutzten Stationen ein grosser Teil als gut arbeitend bekannt war. Eine erneute Herdberechnung ergab für dieses Beben einen Herd in Ostasien bei ca. $\varphi = 18^0\,51'$; $\lambda = 121^0\,12'$. Hiermit stimmte auch sehr gut überein, dass das Diagramm dieses Bebens in den Nachläufern fast durchweg Wellen der Periode 12 Sek. aufwies. Auch aus diesem Beispiel ersieht man, wie wichtig es ist, um gröbere Fehler für eine genauere Herdberechnung zu vermeiden, schon auf anderem Wege gewisse Anhaltspunkte für den Ort des Herdes gewonnen zu haben.

Wie aber können wir, um zunächst bei den japanischen und amerikanischen Beben zu bleiben, das Auftreten der Nachläuferperioden in einem Falle von 12 Sek., im anderen Falle von 18 Sek. noch näher erklären? Es liegt vielleicht gerade für diese beiden Bebengruppen nahe, eine Erklärung im folgenden zu suchen: Die Wellen der japanischen Beben erreichen die Station Göttingen ausschliesslich auf dem Wege über das asiatische Festland, die Wellen der amerikanischen Beben dagegen passieren auf ihrem Wege den Atlantischen

Ozean. Sollten wir also vielleicht mit einem Einfluss ausgedehnter Meeresflächen bzw. Festlandkomplexe auf die Periode der Nachläuferwellen zu rechnen haben in der Weise etwa, dass wir in den Diagrammen von Beben, die ihre Wellen über das Festland zur Station senden, kürzere Perioden von ca. 12 Sek. in den Nachläufern messen, dass wir aber in den Diagrammen von Beben, deren Wellen auf ihrem Wege in überwiegender Weise Meere passieren, grössere Perioden von ca. 18 Sek. finden. So sehr auch speziell die amerikanischen bzw. japanischen Beben diese Auffassung zu rechtfertigen scheinen, so ist sie doch wohl allgemein auf die anderen untersuchten Beben nicht so ohne weiteres zu übertragen. Etwas Ähnliches findet man allerdings auch bei diesen, insofern nämlich alle Beben in den Nachläufern 18 Sek. Periode aufweisen, sobald der Weg ihrer Wellen zu 35—40% von grösseren Meeresflächen unterbrochen ist. Freilich ist eine derartige Schätzung nur sehr roh, besonders bei Beben, deren Wellen zur Beobachtungsstation über den Nordpol kommen, weil die Landverhältnisse am Pol noch nicht genügend erforscht sind.

Bereits F. Etzold (5) hat versucht, allerdings auf einem ganz anderen Wege, eine allgemeine Klassifizierung der Erdbeben vorzunehmen. Im Verlaufe seiner Untersuchungen richtet er sein Augenmerk im wesentlichen auf die Maximalwellen, sodass wir an dieser Stelle nicht näher darauf eingehen wollen.

Auf eine andere Auffassung als die, wie wir sie eben zur Erklärung der Nachläuferperioden speziell bei den japanischen und amerikanischen Beben vertreten haben, scheinen jedoch einige russische Beben hinzuweisen. Wir finden bei zweien dieser Beben einmal eine Periode von 12 Sek., das andere Mal — dies Beben zeichnete sich durch sehr grosse Heftigkeit aus — eine Periode von 18 Sek. in den Nachläufern. Die Wellen beider Beben erreichen ungefähr auf demselben Wege die Station, nämlich über den asiatischen und europäischen Kontinent. Trotzdem also das eine der beiden Beben gar keine grösseren Meeresflächen passiert, zeigt es doch in den Nachläufern eine Periode von 18 Sek. Es ist ohne weiteres klar, dass hier unsere Anschauungsweise, die dem Auftreten der verschiedenen Perioden in den Nachläufern der japanischen und amerikanischen Beben, so gut gerecht zu werden schien, für diese beiden russischen Beben keine Gültigkeit mehr hat. Dagegen scheint es bei diesen Beben, als wenn das Auftreten der Periode 18 Sek. in den Nachläufern durch die Stärke des Bebens bedingt ist. Die stärksten Beben dieser Gruppe sind, soweit sich das überhaupt be-

urteilen lässt, der Reihe nach Nr. 16, 19, 82. Von diesen weisen die ersten beiden allein Periode 18 Sek. als Häufungsstelle auf, zeichnen sich ausserdem noch dadurch aus, dass verschiedentlich Perioden > 18 Sek. hervortreten. Beim Beben 82 tritt neben der Häufungsstelle bei 18 Sek. Periode deutlich eine zweite bei 12 Sek. in den Vordergrund. Alle übrigen Beben, die teils aus derselben Entfernung stammen, wie die eben besprochenen drei, sind auffallend schwächer. Sie zeigen in den Nachläufern Häufungsstellen bei Periode 12 Sek.

Versuche ich jedoch umgekehrt die bei den sibirischen Beben gewonnene Anschauungsweise einer scheinbaren Abhängigkeit der vorherrschenden Nachläuferperioden von der Bebenstärke zu verallgemeinern und auf alle bisher besprochenen Beben anzuwenden, indem ich also etwa sage: alle Beben, die in den Nachläufern im wesentlichen Wellen von 12 Sek. Periode gezeigt haben, sind schwache Beben gewesen, alle anderen aber mit 18 Sek. Periode starke Beben, so muss ich mich bald von der Unzulässigkeit dieser Folgerung überzeugen. Denn lägen tatsächlich die Verhältnisse wie bei dem eben besprochenen sibirischen Beben, dann müsste z. B. das letzthin registrierte aussergewöhnlich kräftige ostasiatische Beben 11 Juni 15 oder auch 06 Jan. 21 mit einem Herd gleichfalls in Japan und noch andere mehr, in den Nachläufern die Periode 18 Sek. vorwiegend zeigen. Dass dies aber keineswegs der Fall war, sahen wir bereits. Umgekehrt müssten weiter bei Gültigkeit des obigen Schlusses alle kleinen amerikanischen Beben in den Nachläufern die Periode 12 Sek. anstatt 18 Sek. aufweisen. Hierfür finden wir aber gleichfalls unter der grossen Zahl der angeführten Beben nicht ein einziges Beispiel.

Vielleicht aber können wir den Gedanken von schwingenden Schichten verschiedener Dicke, wie wir ihn bereits früher zur Erklärung der Perioden einmal herangezogen hatten, mit dem Gedanken an einen Einfluss der Bebenstärke auf die Periode, wie wir ihn eben für die sibirischen Beben ausgesprochen haben, vereinigen. Nimmt man also wieder an, dass die hier beobachteten Perioden von 12 Sek. und 18 Sek. Eigenschwingungen von etwa übereinanderliegenden Schichten verschiedener Dicke sind, so erklärt sich, wenn wir gleichzeitig die Bebenstärke mit berücksichtigen, zunächst für die sibirischen Beben das Auftreten der Perioden 12 Sek. oder 18 Sek. in den Nachläufern vielleicht folgendermassen: Bei mässig starken Beben wird nur die dünnere Schicht mit der Eigenperiode von 12 Sek. zu freien Schwingungen angeregt; sehr starke Beben dagegen veranlassen die dickere, tieferliegende Schicht zu Eigenschwingungen von 18 Sek.

Periode. Die Eigenschwingungen der dünneren Schicht werden in diesem Falle infolge der grösseren Energie, die der dickeren Schicht innewohnt, ganz absorbiert; möglicherweise wird sogar die dünnere Schicht zu erzwungenen Schwingungen von 18 Sek. Periode durch die andere veranlasst.

Für die anderen Bebengruppen, bei denen im wesentlichen nur eine einzige charakteristische Periode beobachtet ist, selbst bei Beben verschiedenster Stärkegrade, nehmen wir dann an, dass die Schicht, auf die uns analog wie bei den sibirischen Beben das Vorkommen einer zweiten Periode hingewiesen hatte, in dem betreffenden Erdteil, aus dem das Beben stammt, fehlt. Es handelt sich ja in jedem Falle voraussichtlich nur um Schichten von verhältnismässig geringer Dicke, deren Fehlen oder Nichtfehlen ohne Belang ist für das allgemeine Bild von unserer Erdkruste, wie wir es z. B. aus Schweremessungen gewonnen haben.

Welcher Art also die Abhängigkeit der Periode vom Epizentrum ist, ob ferner die vorkommenden Perioden im wesentlichen bedingt sind, wie ich zu zeigen versuchte, durch Schwingungen ausgedehnter Schichten, oder auch durch Schwingungen, wie sie unmittelbar im Epizentrum selbst erregt werden, die sich dann in der Ferne fortsetzen oder endlich, ob sie mehr von der Art des durchlaufenen Weges Herd-Station abhängen, lässt sich zurzeit noch nicht mit Sicherheit feststellen, wird sich aber wohl durch das Studium von Erdbebendiagrammen auf mehreren Stationen entscheiden lassen. Dass das Bebendiagramm, sowie wir es auf der Station erhalten, eine Funktion unmittelbar des Epizentralpunktes selbst ist, scheint mir nicht sehr wahrscheinlich; eher glaube ich, dass es bestimmt wird, durch die Verhältnisse, wie sie für eine weitere Umgebung des Epizentrums Gültigkeit haben, also etwa durch Schwingungen ausgedehnter Platten, vielleicht auch, was in gewisser Weise mit dem zuletzt Gesagten zusammenhängt, durch die Art des zwischen Herd und Station liegenden Wellenweges. Dass die Verhältnisse unmittelbar am Epizentrum selbst nicht direkt massgebend sind, darauf weisen die Diagramme verschiedener Beben desselben Herdes hin, die sich häufig in allen Einzelheiten fast Welle für Welle gleichen. Denn es ist sehr unwahrscheinlich, dass der Stoss bei verschiedenen Beben von gleichem Epizentrum jedesmal innerhalb der kurzen Zeit in genau derselben Weise erfolgt, sodass ein Diagramm wie eine Kopie des andern aussieht. Schiebt man dagegen lediglich grösseren Schichten im weiteren Umkreis um den eigentlichen Epizentralpunkt oder auch dem Weg der Erdbeben-

wellen diesen Einfluss auf die Gestaltung des Diagramms zu, so klingt es wahrscheinlicher. Vielleicht sind auch die zur Erklärung der Perioden angeführten Umstände nicht die einzigen, sondern es kommen noch weitere hinzu, die bestimmend sind für die Perioden der Nachläuferwellen.

11. Vorbemerkungen über die Perioden der Vorläufer-, Maximal- und Gegenpunktswellen.

Anschliessend lasse ich nun noch einen Bericht über Periodenmessungen der Vorläufer- und der Maximalwellen folgen. Für die Art der Messung mag Folgendes vorweg bemerkt werden. Ich beschränke mich im wesentlichen auch hier auf Perioden sinusartigen Charakters. Sinusschwingungen sind ausser in den Nachläufern auch in den übrigen Phasen in überwiegender Anzahl vorhanden. Wenn auch der erste Einsatz der beiden Vorläufer kaum sinuidal ist, so folgen ihm doch fast unmittelbar eine Reihe gut ausgeprägter Wellenzüge, die der Messung unterzogen wurden. In noch weitgehenderem Masse als bei den Nachläuferwellen musste besonders bei den P- und S-Wellen jedwede Störung insbesondere durch Brandungsbewegung ausgeschlossen werden. In der P-Phase wurde ausserordentlich häufig eine Periode von ca. 6 Sek. gemessen. Da diese gerade für Göttingen die am häufigsten vorkommende Periode der Brandungsbewegung an der norwegischen Küste ist, so war der Verdacht gross, dass tatsächlich diese und nicht die eigentlichen Vorläuferwellen gemessen waren, trotzdem vor Beginn des Bebens eine absolut glatte Ruhelinie vom Apparat aufgezeichnet war. Die Brandungsbewegung ist nun eine Störung, deren Periode mit der Amplitude wächst (10). In diesem Falle müsste die Amplitude der Bodenunruhe, falls sie tatsächlich geherrscht hätte, ausserordentlich klein gewesen sein, da sie unterhalb der Vergrösserungsfähigkeit des Apparates lag, worauf die gut aufgezeichnete Ruhelinie vor dem Beben schliessen liess. Nachdem die Reibung des Schreibstiftes durch den Einsatz des Bebens verringert wurde, war ihr die Möglichkeit gegeben, mehr hervorzutreten. Gleichwohl dürfte sie dann nach den hierüber angestellten Untersuchungen eine Periode von nicht über 4 Sek. gehabt haben. Hierzu will ich noch erwähnen, dass Omori bei seinen Periodenuntersuchungen feststellt, dass die von ihm beobachtete Periode der Bodenunruhe in Japan von 4,6 Sek. gleichfalls in den Vorläufern der in Tokio registrierten Erdbeben auftritt. Er schreibt sie der Schwingung der geologischen Platte zu, auf der

die Station steht. Als häufigste Periode gibt er für beide Vorphasen eine Periode von ca. 8 Sek. an. Sodann glaubt er auch noch eine Konstanz der Perioden für alle Phasen, insbesondere für P und S feststellen zu können. In den meisten Fällen konnte ich diese Beobachtung auch machen, wie ich später zeigen werde. Gleichwohl kommen bei Beben, auch bei solchen, deren Aufzeichnungen durch äussere Ursachen durchaus nicht gestört erscheinen, häufig Ausnahmen von dieser Regel vor. Für die S-Phase im besonderen hat man wohl zwei Arten von Perioden zu unterscheiden, eine kürzere und eine vier- bis fünfmal längere. Beide Periodenarten treten in dieser Phase gleichzeitig auf. Letztere wird hier in Göttingen besonders schön aufgezeichnet von dem 100 kg-Pendel, während die kürzeren Perioden auf dem 1200 kg-Pendel besser zur Geltung kommen. In Fällen, wo es schwierig war, die P- und S-Phase auf dem 1200 kg-Pendel auseinanderzuhalten, gelang dies in den meisten Fällen mit Hilfe des 100 kg-Pendels durch das Auftreten der ganz langen Perioden sehr leicht. Gegen Ende der S-Phase nimmt die Periode wieder ab, um dann erst wieder mit Beginn der sog. langen Oberflächenwellen zu steigen.

Eine Erklärung für das Auftreten dieser sog. langen Wellen ist vielleicht im folgenden zu suchen (vgl. 36). Bekanntlich sind die eigentlichen Maximaloberflächenwellen annähernd sog. Rayleigh-Wellen, das sind Wellen, die sich durch Vereinigung zweier verschiedener Wellenarten, der Verdichtungswellen von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit a und der Scheerungswellen von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit b in der Erdoberfläche derart zusammensetzen, dass die elastischen Drucke auf der Oberfläche überall zum Verschwinden gebracht werden. Die wirkliche Ausbildung dieser Rayleigh-Wellen, wie sie dann an der Station beobachtet werden, geht nun etwa folgendermassen vor sich. Die aufbauenden zwei Wellenarten eilen mit der Geschwindigkeit a bzw. b von ihrer Ursprungsstelle den Rayleigh-Wellen voraus, da diese, wenn sie einmal als solche gebildet sind, eine kleinere Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben. Es werden daher zunächst die an der Station hervorgerufenen Oberflächenwellen im Entstehen keineswegs eine direkte Fortsetzung der Wellen am Herd darstellen, sondern sie werden ihnen vorauseilen. Die Schwingungen im Entstehen müssen also den nachfolgenden in der Phase voraus sein; d. h. es müssen vom Entstehen bis zum Mitschwingen in ausgebildeten Wellen der Station mit dem Herd, weniger Schwingungen stattfinden, als dann in gleichen Zeiten in den wirklich ausgebildeten Schwingungen. Das bedeutet aber, dass die Rayleigh-Wellen mit einer Vorphase sinkender Periode

vorwärtseilen. Es stellt ein Gleichgewicht sich ein, die Periode ändert sich schliesslich nur wenig. Da nun aber das Massgebende für die Rayleigh-Wellen die gleichzeitige Wirksamkeit der a- und b-Wellen darstellt, so können sie sich auch frühestens erst dann an der Station bilden, wenn die b-Wellen dort eingetroffen sind, wo sie sich dann mit den bereits vorhandenen und noch andauernden Schwingungen der P-Wellen verbinden. Dies ist, wie erwähnt, auch deutlich gleich nach dem Einsatz von S beobachtet worden, an Instrumenten, die wegen ihrer hohen Eigenperiode für die Aufzeichnung langer Perioden besonders empfindlich sind. Für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der ganzen Rayleighwellenfront ist folglich die b-Geschwindigkeit ausschlaggebend.

Nach dem Verklingen der sog. langen Wellen wird die Periode dann in den eigentlichen Maximalwellen für gewöhnlich recht gut konstant. Bemerkt sei, dass wir es in den Maximalwellen keineswegs durchweg mit reinen Rayleigh-Wellen zu tun haben, sondern, dass wir einen grossen Teil der vorkommenden Perioden auf erregte Eigenschwingungen zurückführen müssen. Für die Nachläufer kommen Rayleigh-Wellen höchstwahrscheinlich überhaupt nicht in Betracht, sondern nur erregte Eigenschwingungen.

Es wurden folgende Beben auf die Periode innerhalb der ersten, bzw. zweiten Vorläufer untersucht:

Lfd. Nr.	Datum	Nr. der P-Tabelle	Nr. der S-Tabelle
1	05: Mai 31	1	9
2	Juni 2	10	15
3	06: April 13	—	1
4	„ 18	13	10
5	Septbr. 7	4	4
6	Oktbr. 2	11	8
7	07: April 15	15	16
8	08: März 26/27	9	3
9	Mai 15	12	5
10	Juni 3	5	6
11	09: Juni 3	6	13
12	August 14	3	7
13	10: Novbr. 26	7	12
14	11: Juni 6	8	17
15	Juli 12	14	14
16	Oktbr. 13	2	11
17	„ 14	—	2

Die Liste gibt in Spalte 3 die Nummer an, unter der sich die Werte für die gemessenen Perioden der ersten Vorläuferwellen in der

Tabelle finden, analog gibt Spalte 4 die Nummer an, unter der sich die Werte für die ausführlich gemessenen Perioden der zweiten Vorläufer des betreffenden Bebens in der Tabelle finden.

12. Die Perioden der 1. Vorläuferwellen.

Im einzelnen lasse ich nun kurz die Messungen folgen, wieder in tabellarischer Zusammenstellung und zwar zuerst für die P-Phase:

1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.	
T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
0,5	2	0,7	2	0,9	2	0,9	4	0,2	2	0,8	2	0,9	1	0,8	5
0,7	1	0,8	1	1,0	13	1,0	8	0,5	1	0,9	3	1,1	1	0,9	12
0,8	3	1,0	4	1,1	2	1,1	4	0,6	6	1,0	3	1,2	2	1,0	11
0,9	4	1,2	1	1,2	3	1,2	8	0,7	4	1,1	1	1,4	2	1,1	2
1,0	5	1,5	3	1,3	1	1,3	2	0,8	13	1,2	4	1,5	5	1,2	8
M = 0,8		1,7	1	1,4	3	1,4	2	0,9	11	1,5	1	1,6	1	1,4	1
		1,8	3	1,6	2	1,5	1	1,0	13	1,7	1	1,8	5	1,7	4
		2,0	5	1,8	1	1,7	1	1,1	2	1,8	2	1,9	4	1,8	14
		M = 1,5		1,9	1	1,8	2	1,2	2	2,0	8	2,0	10	1,9	14
				M = 1,2		1,9	2	1,6	1	2,4	1	2,1	4	2,0	4
						2,0	5	1,9	1	3,0	1	2,2	4	2,1	2
						M = 1,3		M = 0,9		3,2	1	2,3	1	2,2	1
										M = 1,6		2,5	2	2,3	1
												M = 1,8		M = 1,4	

9.		10.		11.		12.		13.		14.		15.	
T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
1,2	1	0,1	1	0,6	2	0,3	1	0,6	3	0,5	1	0,5	1
1,4	1	0,2	1	0,7	1	0,4	1	0,8	4	0,6	1	0,6	2
1,5	1	0,4	1	0,8	4	0,5	3	0,9	5	0,8	3	0,7	2
1,7	1	0,5	4	0,9	4	0,6	2	1,0	7	0,9	5	0,8	6
1,8	5	0,6	7	1,0	15	0,7	1	1,1	3	1,0	3	0,9	6
1,9	2	0,7	8	1,1	1	0,8	8	1,2	12	1,1	2	1,0	10
2,0	9	0,8	13	1,2	4	0,9	3	1,3	2	1,2	3	1,1	7
2,2	5	0,9	15	1,3	1	1,2	2	1,5	5	1,4	2	1,2	6
2,4	1	1,0	18	1,5	5	1,5	3	1,6	1	1,5	6	1,3	1
2,5	1	1,1	3	1,6	1	1,6	1	1,7	5	1,6	2	1,4	1
2,8	3	1,2	6	1,8	1	1,8	1	1,8	1	1,7	1	1,5	2
3,0	3	1,3	1	1,9	2	1,9	1	1,9	4	1,8	7	1,6	1
3,2	1	1,4	2	2,0	2	2,0	20	2,0	5	1,9	6	1,7	1
3,4	1	1,6	1	2,5	1	2,1	1	2,3	1	2,0	8	1,8	5
M = 2,2		1,7	1	3,0	4	2,2	2	2,4	1	2,1	3	1,9	3
		1,8	2	3,2	1	2,6	1	2,6	1	2,2	1	2,0	7
		2,0	1	4	1	2,7	1	2,7	1	2,3	1	2,2	1
		M = 0,9		M = 1,4		2,9	3	2,8	1	2,4	1	2,4	1
						M = 1,5		3,0	1	2,5	2	2,5	2
								M = 1,4		2,8	1	2,9	1
										M = 1,6		3,1	2
												3,2	1
												4,0	1
												M = 1,5	

Bemerkungen zu den einzelnen Beben hinsichtlich der Periode ihrer ersten Vorläufer.

(Die Numerierung ist wieder analog wie bei den Bemerkungen zu den Nachläuferwellen s. S. 224).

1 (1). Die Tabelle lässt vielleicht eine Häufungsstelle bei ca. 6 Sek. Periode erkennen. Nach den gemessenen Perioden, die sehr deutlich ausgeprägt sind, treten plötzlich Unregelmässigkeiten auf, die die weitere Messung unmöglich machen.

3 (12). Deutliches Hervortreten der Periode 6 Sek. als Häufungsstelle charakterisiert die ersten Vorläufer dieses Bebens.

4 (5). Der Periodenbereich dieses Bebens ist ziemlich ausgedehnt. Die Perioden um ca. 6 Sek. scheinen gegen die anderen etwas hervorzutreten. Als Mittelwert ergibt sich 7,8 Sek.

5 (10). Bei kleinem Periodenbereich haben wir eine gut ausgesprochene Häufungsstelle bei ca. 5 Sek. Periode, sodass hier wohl von einer Periodenkonstanz innerhalb der Phase gesprochen werden kann. Als Mittelwert ergibt sich 5,4 Sek. Bemerkt sei hier noch ausdrücklich, dass von Bodenunruhe keine Spur wahrzunehmen ist.

7 (13). Die Messungen zeigen eine ausgesprochene Häufungsstelle bei ca. 12 Sek. Periode.

8 (14). Sowohl um die Periode 5 Sek., wie um die Periode 11 Sek. macht sich je eine deutliche Häufungsstelle bemerkbar.

9 (8). Gegenüber den noch vorkommenden längeren Perioden ist der Periode 12 Sek. entschieden die grösste Bedeutung beizumessen.

11 (6). Die häufigste Periode ist 6 Sek. Beim Eintreffen von PR_1 treten plötzlich längere Perioden auf, die von kürzeren (6 Sek.) überlagert sind. Als Mittelwert erhalte ich 8,4 Sek.

12 (9). Die P-Wellen dieses Bebens bestehen im wesentlichen aus solchen von der Periode 12 Sek. Die Anfangswellen sind überlagert von Wellen mit ca. 5 Sek. Periode.

13 (4), Die Phase der ersten Vorläufer dieses Bebens ist dadurch ausgezeichnet, dass der Bereich der in ihr überhaupt vorkommenden Perioden ziemlich gross ist. Von einer Periodenkonstanz kann wohl in diesem Falle kaum gesprochen werden. Eine Häufungsstelle liegt bei ca. 7 Sek. Periode.

14 (15). Auch in den ersten Vorläufern dieses Bebens ist der Periodenbereich ziemlich gross. Zwei Häufungsstellen bei 5 und 12 Sek. Periode sind zu erkennen.

15 (7). Auch dieses Beben zeigt in den ersten Vorläufern einen grossen Periodenbereich. Es überwiegen allerdings die kurzen Perioden gegenüber den anderen. In zweiter Linie kommt vielleicht noch eine Periode von ca. 11 Sek. als weitere Häufungsstelle in Betracht.

Fasse ich wieder die Periodenbeobachtungen für die ersten Vorläufer dieser Beben summarisch in einer Tabelle zusammen, so ergibt sich allgemein, dass neben sehr kleinen Perioden auch sehr grosse in dieser Phase auftreten können.

T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
0,1	1	0,6	23	1,1	28	1,6	11	2,1	12	2,6	3	3,1	2
0,2	3	0,7	19	1,2	62	1,7	16	2,2	12	2,7	2	3,2	4
0,3	1	0,8	62	1,3	8	1,8	49	2,3	4	2,8	4	3,4	1
0,4	2	0,9	75	1,4	14	1,9	40	2,4	5	2,9	4	4,0	2
0,5	12	1,0	110	1,5	32	2,0	84	2,5	8	3,0	9		

Als bedeutendste Häufungsstelle ist wohl eine Periode von ca. 6 Sek. anzusprechen, weiterhin macht sich auch Periode 12 Sek. als solche bemerkbar. Von Wichtigkeit ist vielleicht die Bemerkung, dass gewisse Beben in dieser Phase nur Periode 6 Sek., andere wieder nur 12 Sek. als Häufungsstelle aufweisen. Daneben kommen auch Beben mit 6 und 12 Sek. Periode gleichzeitig als Häufungsstelle vor. Eine Abhängigkeit der Periode in der Art, wie wir sie bei den Nachläufern fanden, konnte nicht nachgewiesen werden.

13. Die Perioden der 2. Vorläuferwellen.

Dieselben Beben wollen wir nun auf die Periode ihrer Wellen in der Phase der zweiten Vorläufer untersuchen, um ev. eine Beziehung

1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.	
T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
0,9	2	1,0	1	1,9	1	1,0	1	0,6	1	0,8	1	1,0	4	1,0	4
1,0	4	1,4	1	2,0	13	1,1	1	0,8	1	0,9	1	1,1	1	1,2	3
1,1	2	1,5	1	2,2	1	1,2	7	1,0	1	1,0	9	1,2	4	1,3	1
1,2	2	2,0	7	2,3	1	1,3	4	1,2	1	1,1	1	1,3	2	1,6	1
1,4	1	2,1	1	2,4	1	1,5	2	1,5	2	1,2	4	1,4	4	1,8	3
1,5	4	2,2	3	2,5	1	1,8	5	1,8	5	1,3	1	1,5	4	2,0	12
1,8	2	2,4	2	2,8	3	1,9	4	1,9	5	1,4	1	1,6	1	2,2	5
1,9	5	2,5	1	2,9	3	2,0	12	2,0	16	1,5	6	1,7	2	2,3	1
2,0	8	2,8	1	3,0	7	2,2	2	2,1	1	1,6	1	1,8	9	2,5	2
M = 1,6		2,9	1	3,1	1	2,5	1	2,2	4	1,7	1	1,9	7	2,6	1
		3,0	1	3,6	2	2,7	1	2,5	3	1,8	2	2,0	22	2,7	1
		M = 1,8		4,1	1	2,8	1	2,6	2	1,9	1	2,1	1	2,8	1
				M = 2,6		2,9	2	2,8	1	2,0	6	2,2	3	2,9	1
						3,0	4	2,9	1	2,2	2	2,4	1	3,0	8
						3,3	1	3,0	1	2,3	3	2,6	3	3,3	2
						M = 1,9		3,2	1	2,8	1	2,8	1	3,4	1
								3,3	1	2,9	1	2,9	1	3,5	2
								3,5	3	3,0	1	3,0	2	3,9	1
								M = 2,1		M = 1,6		M = 1,9		4,0	1
														M = 2,3	

9.		10.		11.		12.		13.		14.		15.		16.	
T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
0,8	2	0,9	1	1,0	9	1,5	1	0,8	2	0,9	1	0,5	1	0,8	1
0,9	3	1,0	4	1,1	2	1,8	4	0,9	1	1,0	3	0,7	1	1,0	8
1,0	6	1,1	4	1,5	4	1,9	4	1,0	3	1,2	1	0,8	4	1,1	2
1,1	6	1,2	7	1,6	1	2,0	9	1,1	2	1,5	5	0,9	10	1,2	6
1,2	12	1,4	2	1,7	1	2,1	2	1,2	4	1,6	2	1,0	8	1,3	2
1,4	2	1,5	3	1,8	3	2,2	6	1,5	1	1,7	1	1,1	6	1,5	2
1,5	10	1,6	2	1,9	1	2,3	1	1,8	3	1,8	4	1,2	10	1,8	2
1,8	10	1,7	2	2,0	4	2,5	6	1,9	1	1,9	4	1,3	2	1,9	1
1,9	2	1,8	6	2,2	1	2,6	1	2,0	10	2,0	17	1,4	2	2,0	8
2,0	13	2,0	5	2,3	1	2,8	2	2,1	3	2,1	5	1,5	6	2,1	3
2,1	1	2,1	2	2,5	4	2,9	4	2,2	5	2,2	1	1,6	4	2,2	5
2,2	1	2,2	4	2,6	1	3,0	9	2,3	1	2,4	1	1,7	1	2,4	2
2,4	1	2,3	2	2,7	1	3,2	1	2,5	2	2,5	1	1,8	6	3,0	4
2,5	5	2,5	3	2,8	4	3,3	3	2,6	1	2,6	1	1,9	3	3,1	4
2,8	2	2,7	2	2,9	2	3,5	1	2,8	5	2,8	2	2,0	19	3,4	2
3,0	2	2,8	4	3,0	4	3,8	2	2,9	1	2,9	2	2,1	2	3,6	2
3,4	1	2,9	1	3,1	1	3,9	3	3,0	9	3,0	3	2,2	5	3,8	1
3,7	4	3,0	2	3,2	1	4,0	3	3,2	3	3,2	2	2,3	1	3,9	1
3,9	3	3,2	1	3,4	1	4,2	2	3,4	3	3,4	1	2,5	2	4,0	5
4,1	1	3,8	1	3,5	1	4,6	1	3,5	1	3,5	1	2,6	1	4,2	2
M = 1,8		M = 1,9		M = 2,1		M = 2,7		3,8	1	3,8	1	2,9	1	4,5	1
								4,0	4	3,9	2	3,0	1	4,8	3
								4,2	2	5,5	1	3,4	1	4,9	1
								5,0	1	5,6	1	3,8	1	5,0	3
								M = 2,3		M = 2,3		4,0	1	5,1	1
												4,1	1	5,8	1
												M = 1,6		M = 2,6	

17.

T	n	T	n	T	n
0,9	4	2,0	5	4,1	1
1,0	1	2,1	3	4,4	1
1,1	2	2,2	1	4,5	1
1,2	5	2,6	1	4,7	1
1,4	1	2,8	1	4,8	1
1,5	2	3,0	2	4,9	1
1,6	3	3,1	1	5,0	1
1,7	1	3,2	1	5,2	1
1,8	8	3,9	1	5,6	1
1,9	7	4,0	1	6,1	1
		M = 2,4			

der hier vorkommenden Perioden zu denen in den ersten Vorläufern bzw. Nachläufern gemessenen herzuleiten. Die einzelnen Messungen sind in den Tabellen auf S. 255 und in vorstehenden Tabellen wieder zusammengestellt.

Bemerkungen zu den einzelnen Beben hinsichtlich der Perioden ihrer zweiten Vorläuferwellen.

3 (8). Wir haben bei diesem Beben eine ausgeprägte Häufungsstelle bei 12 Sek., daneben eine bei 18 Sek. Periode, ähnlich wie in der P-Phase.

4 (5). Auch dieses Beben weist neben der Haupthäufungsstelle bei 12 Sek. Periode noch eine weitere bei ca. 7 Sek. auf, analog wie in der P-Phase.

5 (9). Dieselbe gut ausgeprägte Häufungsstelle bei ca. 12 Sek. wiederholt sich hier wie bei den ersten Vorläufern. Der Gesamtmittelwert von ca. 13,8 Sek. Periode ist jedoch grösser, da besonders beim Eintreffen der einmal reflektierten Transversalwellen grössere Perioden vorübergehend hervortraten.

6 (10). Es zeigen sich Häufungsstellen bei 6, 9 und 12 Sek. Periode. Die Periode 6 Sek. haben wir auch ausschliesslich in der P-Phase dieses Bebens beobachtet. Der Mittelwert ergibt sich mit 9,6 Sek.

8 (6). Zu Beginn der S-Phase haben wir deutlich ein Auftreten der Periode 12 Sek. Im weiteren Verlauf der Phase nimmt die Periode ein wenig zu.

9 (1). Kurz vor Beginn von S haben wir bei diesem Beben absolute Diagrammruhe. Die Wellen der S-Phase sind den P-Wellen entsprechend gleichfalls ein wenig unregelmässig. Anfangs machen sich kürzere Wellen von ca. 7 Sek. Periode bemerkbar, denen dann längere von ca. 12 Sek. Periode folgen. Die ganz langen Perioden, die vorkommen, sind von kürzeren überlagert.

10 (4). Was für die P-Phase dieses Bebens galt, ist auch für die S-Phase von Wichtigkeit. Der Bereich der vorkommenden Perioden ist ausserordentlich gross. Häufungsstellen finden sich auch hier bei 11 Sek. und 7 Sek. Periode. Der Mittelwert ergibt sich mit 11,4 Sek. nur ein wenig grösser als der für die P-Phase.

11 (16). Einer deutlichen Häufungsstelle bei ca. 6 Sek. Periode stehen zwei weitere weniger ausgeprägte bei 12 Sek. bzw. 19 Sek. gegenüber.

12 (13). Ausgesprochene Häufungsstellen finden sich bei 12 Sek. und 18 Sek. Periode.

13 (11). Der Periodenbereich ist ein sehr grosser. Häufungsstellen erkennen wir bei 12 Sek. und ca. 17 Sek. Beim Auftreten von SR_1 bzw. gleich danach kann man auch hier wieder sehr lange Perioden in den Vordergrund treten sehen.

14 (15). Wir finden bei ca. 12 Sek. Periode eine Häufungstelle.

15 (2). Zu Beginn der S-Phase überwiegen im wesentlichen Perioden, die nur ein wenig grösser sind als die bei diesem Beben für die ersten Vorläufer beobachteten. Erst gegen Ende der Phase bildet sich nach und nach eine Häufungsstelle bei 12 Sek. Periode heraus.

16 (7). Der Beginn der S-Phase ist durch sehr lange Perioden ausgezeichnet. Für die kürzeren Perioden scheinen bei ca. 7 Sek. und 12 Sek., wie bei den ersten Vorläufern, Häufungsstellen zu liegen.

17 (14). Der Bereich der vorkommenden Perioden ist ein sehr grosser. Eine Häufungsstelle besteht bei ca. 11 Sek. Periode. Die vielen vorkommenden langen Perioden sind meistenteils von kürzeren überlagert.

Ich lasse hier nunmehr gleich einige Werte für die ganz langen Perioden folgen, wie ich sie in der S-Phase gut ausgeprägt bei verschiedenen Beben in den Registrierungen des 100 kg-Pendels gemessen habe. Bereits früher habe ich auf sie kurz hingewiesen. Keineswegs findet man sie bei jedem Beben vor. Da die Registriergeschwindigkeit des 100 kg-Pendels 6 mm pro Min. beträgt, so ist natürlich die Ablesegenauigkeit dadurch in entsprechenden Grenzen gehalten. Im einzelnen sind die Messungen in Sek. folgende:

05 Juni 1: 32, 33, 36, 37, 31, 36, 44, 40, 25, 21.
Aug. 25: 40, 39.
07 Juni 5: ca. 30.
Juni 25: 26, 29, 29, 28, 25.
Juli 1: 22, 41, 30, (55), 42, 25.
Aug. 17: 19, 31, 30, 26, 30, 32.
Okt. 11: 51, 40, 39, 30, 28, 28, 29.
08 Mai 5: 32, 34, 40, 45, 32, 30, 34,
Mai 15: 49, 42, 50, 32, 28, 29.
09 April 10 (19^h 2^{min}): ca. 30.
April 10 (19^h 56^{min}): 30, 30, 32.
Juni 3: 29, 25, 30, 20, 28, 33, überlagert von vielen kleinen Perioden (ca. 6 Sek.)
Juli 30: 32, 22, 29, 20, 43, 35, 31, 27, 30, 26, 29, 23, 24.

Verschiedentlich wurde beobachtet, wie das ja auch z. T. aus den hier angeführten Daten ersichtlich ist, dass der Beginn der S-Phase als eS mit einer sinusartigen Welle begann, die meistenteils die Periode 30 Sek. hatte. Dieselbe Welle fand sich dann später in den Reflexionen SR_1, SR_2,.... ihrer äusseren Form nach zu urteilen getreu widergespiegelt. Die Periode erschien häufig um einige Sekunden grösser, doch liegen nur verhältnismässig wenige Messungen vor, die sich aber zurzeit nicht vermehren lassen, da von dem grossen vorhandenen Erdbebenmaterial leider nur wegen der äusseren Störungen (Brandungsbewegung, Kältebewegung) ein geringer Bruchteil verwandt werden konnte.

Wir stellen uns auch diese bei den einzelnen Beben in der S-Phase beobachteten langen Perioden in einer Tabelle zusammen nach der Häufigkeit ihres Vorkommens:

T	n	T	n	T	n	T	n
19	1	26	3	33	2	41	1
20	1	27	1	34	2	42	2
21	1	28	5	35	1	43	1
22	1	29	7	36	2	44	1
23	1	30	12	37	1	49	1
24	1	31	3	39	2	51	2
25	4	32	7	40	4	50	1

Mittelwert = 32 Sek.

Man erkennt aus dieser Tabelle, dass sich bei einer Periode von 30 Sek. eine Häufungsstelle findet. Gegen Ende der S-Phase nehmen die eben besprochenen langen Perioden wieder ab, um sich dann erst wieder beim Eintreffen der Oberflächenwellen bemerkbar zu machen.

Zusammenfassend ergibt sich kurz an der Hand der folgenden summarischen Tabelle, die die Periodenzahlen aller in der S-Phase gemessenen Wellen enthält, folgendes:

0,3	1	1,0	57	1,7	8	2,4	8	3,1	4	3,8	5	4,8	4
0,4	1	1,8	28	1,8	67	2,5	25	3,2	9	3,9	5	4,9	2
0,5	4	1,2	64	1,9	42	2,6	11	3,3	4	4,0	15	5,0	5
0,6	3	1,3	11	2,0	191	2,7	6	3,4	10	4,1	4	5,1	1
0,7	2	1,4	13	2,1	24	2,8	26	3,5	8	4,2	4	5,5	1
0,8	18	1,5	49	2,2	43	2,9	19	3,6	4	4,5	1	5,6	2
0,9	25	1,6	12	2,3	8	3,0	50	3,7	4	4,7	1	5,8	1
												6,1	1

Allgemein liegt der Periodenmittelwert, durch das Hinzutreten von langen Perioden veranlasst, für die S-Phase höher als für die P-Phase. Die in der P-Phase bemerkten Häufungsstellen wiederholen sich bei einem bestimmten Beben meistens auch in der S-Phase oder sind doch wenigstens angedeutet. Zum Teil ist diese Erscheinung wohl darauf zurückzuführen, dass die Longitudinalschwingungen noch fortdauern, wenn die Transversalschwingungen schon begonnen haben. Das von den ersten Vorläuferwellen in Beziehung auf die Nachläuferwellen Gesagte gilt auch hier. Aus der summarischen Tabelle entnimmt man, dass das Hauptkontingent Periode 12 Sek. stellt. Daneben treten aber auch deutlich die für die P-Phase besonders häufige Periode von 6 Sek. und vielleicht auch Periode 18 Sek. vor den anderen hervor.

14. Die Perioden der Maximalwellen.

Wir kommen nun zu einer Besprechung der sog. langen Wellen, den eigentlichen Oberflächenwellen. In der Hauptsache sind sie als Repräsentanten für Rayleigh-Wellen aufzufassen. Näheres habe ich bereits hierüber erwähnt. Ihre Periode hält sich in den meisten Fällen innerhalb gewisser Grenzen ziemlich konstant. Es wurden folgende Beben auf die Periode ihrer Maximalwellen untersucht:

Lfd. Nr.	Datum	Nr. der M-Tabelle
1.	1905 Mai 31.	13
2.	„ Juni 2.	36
3.	„ „ 14.	18
4.	„ „ 30.	27
5.	„ Juli 6.	35
6.	„ „ 11.	28
7.	„ „ 14.	21
8.	„ „ 14.	3
9.	„ „ 17.	22
10.	„ „ 27.	5
11.	„ Sept. 15.	32
12.	1906 Jan. 31.	30
13.	„ April 13.	19
14.	„ Juni 1.	23
15.	„ Aug. 17.	20
16.	„ „ 17.	14
17.	„ „ 19.	15
18.	„ „ 30.	1
19.	„ Sept. 7.	24
20.	„ Okt. 2.	25
21.	„ Nov. 8.	2
22.	„ „ 19.	16
23.	1907 April 15.	37
24.	1908 Jan. 11.	6
25.	„ „ 15.	9
26.	„ März 5.	7
27.	„ „ 26./27.	10
28.	„ „ 27.	4
29.	„ Mai 15.	11
30.	„ Nov. 6.	17
31.	„ „ 11.	8
32.	1909 Aug. 14.	12
33.	1910 Nov. 26.	34
34.	1911 Juni 6.	33
35.	„ Juli 12.	31
36.	„ Okt. 13.	29
37.	„ „ 14.	26

Spalte 3 dieser Liste gibt wieder die Nummer an, unter der sich die ausführlichen Periodenmessungen der Maximalwellen in der folgenden tabellarischen Zusammenstellung finden.

1.		2.		3.		4.		5.		6.	
T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
2,5	1	2,0	11	1,4	1	2,2	1	2,0	1	1,8	3
2,9	4	2,1	3	2,0	4	2,4	1	2,5	1	1,9	2
3,0	6	2,2	3	2,1	1	2,5	2	3,0	9	2,0	4
3,1	2	2,4	1	2,2	3	2,8	1	3,2	3	2,2	2
3,2	1	2,7	1	2,8	1	2,9	7	3,3	1	2,4	3
M = 3,0		3,0	1	2,9	1	3,0	7	3,4	2	2,6	1
		M = 2,1		3,1	1	3,1	3	3,6	1	2,8	2
				M = 2,2		M = 2,9		3,8	1	3,0	6
								M = 3,1		M = 2,4	

7.		8.		9.		10.		11.		12.	
3,0	4	2,0	3	2,2	3	2,6	2	1,8	1	1,5	1
3,1	2	2,1	3	2,3	3	2,8	1	2,0	26	1,7	1
3,2	5	2,2	2	2,4	3	2,9	3	2,1	6	1,8	6
3,3	1	2,3	1	2,5	1	3,0	16	2,2	8	2,0	17
4,0	1	2,4	1	2,8	2	3,1	3	2,4	1	2,1	8
4,1	1	2,7	1	2,9	2	3,2	2	2,5	2	2,2	11
4,2	1	2,8	1	3,0	3	3,3	2	2,7	1	2,4	1
4,3	1	2,9	1	3,3	1	3,4	2	2,8	1	2,5	2
M = 3,4		M = 2,3		3,5	2	3,8	1	3,0	10	2,8	2
				M = 2,7		4,2	1	3,5	1	3,0	1
						M = 3,1		M = 2,3		M = 2,1	

13.		14.		15.		16.		17.		18.	
2,0	8	2,4	1	2,7	3	2,5	1	1,8	2	2,8	1
2,1	2	2,5	1	2,8	7	2,9	2	1,9	5	2,9	1
2,2	4	2,9	5	2,9	9	3,0	21	2,0	9	3,0	7
2,5	2	3,0	18	3,0	12	3,1	2	2,1	4	3,1	7
2,7	3	3,1	2	3,1	1	3,2	3	2,2	3	3,2	4
2,8	1	3,2	1	3,2	1	3,3	1	2,8	1	3,3	3
2,9	5	3,4	1	3,4	1	3,4	3	2,9	2	3,4	1
3,0	4	3,5	1	3,5	1	3,5	2	3,0	2	3,5	5
3,2	1	3,8	2	3,6	1	3,6	3	3,1	1	3,6	4
3,3	1	4,0	1	3,8	1	3,8	1	3,2	1	3,8	5
3,6	1	4,3	1	3,9	2	4,6	1	3,4	1	3,9	2
M = 2,5		M = 3,1		M = 3,0		M = 3,2		M = 2,3		4,0	4
										M = 2,3	

19.		20.		21.		22.		23.		24.	
1,1	2	2,0	1	2,1	1	3,0	5	2,8	5	1,2	1
1,2	1	2,1	2	2,2	3	3,1	3	2,9	1	1,8	2
1,3	2	2,2	2	2,3	2	3,2	2	3,0	13	1,9	3
1,4	2	2,5	2	2,5	1	3,4	2	3,1	1	2,0	11
1,5	2	2,6	3	2,8	1	3,5	4	3,2	3	2,1	3
1,6	1	2,7	1	2,9	3	3,6	1	3,4	1	2,2	10
1,8	4	2,8	7	3,0	6	3,7	1	3,5	3	2,3	3
1,9	2	2,9	5	3,1	4	3,8	3	3,6	2	2,4	1
2,0	7	3,0	6	3,2	5	3,9	1	3,8	2	2,5	1
2,1	1	3,1	1	3,3	1	4,0	6	3,9	1	2,6	1
2,4	1	3,2	2	3,4	1	4,2	3	4,0	3	2,8	2
2,5	3	3,5	1	3,5	2	4,3	1	4,1	1	2,9	3
2,8	1	3,6	1	4,0	1	4,8	1	4,3	1	3,0	5
M = 1,8		M = 2,8		4,4	1	4,9	1	4,4	1	3,2	2
				M = 3,0		5,0	1	4,6	1	3,7	1
						M = 2,7		M = 3,3		M = 2,3	

25.

T	n
2,2	1
2,4	1
2,5	1
2,8	3
2,9	4
3,0	7
3,2	6
3,3	1
3,4	3
3,5	2
3,6	2
3,7	1
3,8	4
4,0	4
4,8	2

M = 3,3

26.

T	n
1,9	1
2,0	4
2,1	2
2,2	5
2,3	1
2,5	2
2,6	1
2,7	2
2,8	5
2,9	4
3,0	8
3,2	4
3,4	2
3,5	1
3,6	1
3,8	3
4,0	4

M = 2,8

27.

T	n
3,0	4
3,1	1
3,2	1
3,3	1
3,5	3
3,8	1
3,9	1
4,0	2
4,1	2
4,2	3
4,3	2
4,4	2
4,5	1
4,8	2
5,0	1
5,1	1
5,3	1
5,7	1

M = 4,0

28.

T	n
1,2	1
1,4	1
1,5	1
1,6	3
1,7	1
1,8	2
1,9	1
2,0	23
2,1	2
2,2	8
2,3	2
2,4	1
2,5	3
2,6	1
2,7	1
2,8	1
3,0	1
3,2	1

M = 2,1

29.

T	n
1,7	1
1,8	1
2,0	6
2,1	6
2,2	5
2,4	1
2,5	6
2,6	1
2,7	5
2,8	6
2,9	3
3,0	7
3,1	2
3,2	1
3,5	2
3,8	1
3,9	1
4,0	1

M = 2,6

30.

T	n
2,1	1
2,2	1
2,4	1
2,5	1
2,6	1
2,7	1
2,8	4
2,9	9
3,0	22
3,1	4
3,2	2
3,3	1
3,5	3
3,6	1
3,8	1
3,9	3
4,0	4
4,1	3
4,5	1

M = 2,3

31.

T	n
1,9	2
2,0	7
2,1	4
2,2	1
2,3	1
2,4	1
2,5	2
2,8	13
2,9	7
3,0	11
3,1	8
3,2	8
3,3	1
3,5	4
3,7	1
3,9	1
4,0	2
4,1	3
4,2	3

M = 3,0

32.

T	n
1,8	2
1,9	2
2,0	6
2,1	3
2,2	7
2,3	1
2,4	4
2,5	7
2,6	3
2,7	2
2,8	11
2,9	9
3,0	12
3,1	1
3,2	1
3,4	1
3,8	2
3,9	2
4,0	2
4,1	1

M = 2,7

33.

T	n
1,8	4
1,9	6
2,0	15
2,1	5
2,2	10
2,3	2
2,4	5
2,5	20
2,6	3
2,7	4
2,8	16
2,9	21
3,0	16
3,1	3
3,2	7
3,4	1
3,5	3
3,6	1
3,8	4
3,9	3
4,0	1

M = 2,6

34.

T	n
2,2	3
2,3	2
2,5	1
2,7	1
2,8	6
2,9	22
3,0	21
3,1	9
3,2	10
3,3	2
3,4	2
3,5	1
3,6	2
3,7	1
3,8	4
3,9	3
4,0	2
4,1	1
4,2	1
4,5	1
4,9	2

M = 3,0

35.

T	n
1,5	4
1,6	1
2,0	5
2,1	3
2,2	7
2,3	2
2,4	2
2,5	1
2,6	2
2,7	1
2,8	6
2,9	7
3,0	8
3,1	2
3,2	2
3,4	4
3,5	4
3,8	2
3,9	2
4,1	1
4,3	1
4,8	2
4,9	1

M = 2,8

36.

T	n
0,9	1
1,0	4
1,2	5
1,4	2
1,5	3
1,8	5
1,9	4
2,0	5
2,1	6
2,2	4
2,3	1
2,4	2
2,6	2
2,7	1
2,8	1
2,9	3
3,0	5
3,2	1
3,4	2
3,5	3
3,6	1
3,9	1
4,0	2
4,2	2
4,5	1

M = 2,3

37.

T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
2,0	2	2,6	7	3,2	5	3,8	2	4,8	3
2,1	3	2,7	5	3,3	1	3,9	2	5,0	3
2,2	8	2,8	5	3,4	1	4,0	2	5,6	1
2,3	4	2,9	6	3,5	2	4,1	1		
2,4	1	3,0	25	3,6	2	4,4	1		
2,5	7	3,1	2	3,7	1	4,6	1		

M = 3,0

Bemerkungen zu den einzelnen Beben hinsichtlich der Periode ihrer Maximalwellen.

2 (21). Die Maximalwellen dieses Bebens zeigen im wesentlichen Wellen von 12 Sek. Periode.

5 (10). Die Maximalwellen dieses Bebens zeigen als Häufungsstelle Periode 18 Sek. Die Nachläuferwellen dagegen zeigen als Häufungsstelle 12 Sek.

10 (27). Eine deutliche Häufungsstelle für die Periode 18 Sek. zeichnet die Maximalwellen dieses Bebens aus.

11 (29). Der grösste Teil der Maximalwellen, wie der Nachläuferwellen, weist Periode 18 Sek. auf. Nur kurz vor Beginn der Nachläuferwellen treten einige wenige Wellen von Periode 12 Sek. auf.

13 (1). Zu Beginn der Maximalbewegung stehen Perioden von ca. 17,4 Sek. im Vordergrund, gegen Ende dagegen überwiegen Wellen der Periode 12 Sek.

14 (16). Die Messungen sind vielleicht nicht ganz einwandfrei, da sie noch unter dem Einfluss der Maximalbewegung des kurz voraufgegangenen Bebens zu leiden haben. Immerhin bemerkt man eine Häufungsstelle bei Periode 18 Sek.

15 (17). Sowohl für die Maximal- wie für die Nachläuferwellen zeigt sich eine deutliche Häufungsstelle bei 18 Sek. Periode.

18 (3). Zu Beginn der Maximalbewegung haben wir Perioden von 21—24 Sek., gegen Ende jedoch deutliches Hervortreten der Periode 18 Sek.

19 (13). Mit den Nachläuferwellen haben die Maximalwellen dieses Bebens eine Häufungsstelle bei 12 Sek. Periode gemeinsam.

22 (9). Sehr schöne reine Maximalwellen charakterisieren dieses Beben. Die mittlere Periode ergibt sich mit 22,2 Sek.

23 (14). Bei den schön ausgeprägten Maximalwellen haben wir verschiedentlich Schwebungen zu konstatieren. Auffällig ist auch hier wieder der Wechsel der Periode von einer Schwebungsgruppe zur andern.

24 (19). Wie die Nachläuferwellen dieses Bebens zeichnen sich auch die Maximalwellen durch kürzere Perioden in der Hauptsache um ca. 12 Sek. aus.

26 (37). Periode 18 Sek. ist als Häufungsstelle anzusprechen.

28 (6). Die Maximalwellen dieses Bebens zeigen eine deutliche Häufungsstelle bei 12 Sek. Periode.

29 (36). Die Messungen lassen zwei wenig ausgeprägte Häufungsstellen bei 13 bzw. 17 Sek. Periode erkennen.

30 (12). Die ziemlich reinen Maximalwellen zeigen eine Häufungsstelle bei Periode 18 Sek. Schwebungen treten verschiedentlich auf.

31 (35). Einer nicht ganz scharf begrenzten Häufungsstelle bei ca. 19 Sek. Periode ist vielleicht noch eine zweite bei 12 Sek. an die Seite zu setzen.

33 (34). Auch bei diesem Beben finden wir in den Maximalwellen neben der Häufungsstelle bei 19 Sek. Periode noch eine weitere bei 12 Sek.

35 (5). Die Maximalwellen dieses Bebens machen einen etwas krausen Eindruck. Beobachtet wurden verschiedentlich Überlagerungen von 9 Sek. Periode. Ausgesprochene Periodenhäufungsstellen sind nicht vorhanden.

36 (2). Auch bei diesem Beben ist in den Maximalwellen eine deutliche Häufungsstelle nicht vorhanden. Vielmehr findet ein steter Wechsel zwischen längeren und kürzeren Perioden statt.

37 (23). Sehr verschiedene Perioden findet man in den Maximalwellen dieses Bebens. Immerhin hebt sich Periode 18 Sek. deutlich gegen die andern heraus.

Stellen wir auch hier der besseren Übersicht wegen die Periodenmessungen der Maximalwellen aller Beben summarisch zusammen, so erkennen wir als wesentliches Resultat, dass sich neben 18 Sek. Periode deutlich Periode 12 Sek. als Häufungsstelle bemerkbar macht.

T	n	T	n	T	n	T	n	T	n
0,9	1	1,8	39	2,7	25	3,6	21	4,5	3
1,0	4	1,9	28	2,8	77	3,7	4	4,6	4
1,1	2	2,0	173	2,9	94	3,8	33	4,8	10
1,2	8	2,1	61	3,0	259	3,9	19	4,9	2
1,3	2	2,2	93	3,1	44	4,0	34	5,0	5
1,4	8	2,3	25	3,2	56	4,1	10	5,1	1
1,5	13	2,4	29	3,3	16	4,2	10	5,3	1
1,6	8	2,5	42	3,4	26	4,3	8	5,6	1
1,7	4	2,6	25	3,5	40	4,4	5	5,7	1

Im allgemeinen zeichnen sich die Maximalwellen bei den einzelnen Beben durch ziemlich konstante Periode aus. Verschiedentlich beobachteten wir jedoch eine weniger grosse Konstanz. Weiter sahen wir, dass eine ganze Reihe von Beben in den Maximalwellen nur mit Perioden < 18 Sek. ausgestattet waren. Gar manchesmal finden wir eine Periode von 12 Sek. als Häufungsstelle vor. Insbesondere zeichnen sich auch hier wieder hinsichtlich der Periode ihrer Maximalwellen die japanischen und amerikanischen Beben aus, wenn die Verhält-

nisse auch für die Maximalwellen nicht so deutlich sind, wie bei den Nachläufern. Während die amerikanischen Beben in den Maximalwellen durchweg die Periode 18 Sek. als Häufungsstelle aufweisen, wobei Periode 12 Sek. kaum hier und da einmal vorkommt, liegen die Verhältnisse bei den japanischen Beben beinahe umgekehrt. Sie zeichnen sich alle durch das überwiegende Vorkommen von kürzeren Perioden < 18 Sek., meistens mit einer Häufungsstelle bei 12 Sek. aus. Nur ganz gelegentlich tritt neben diesen Perioden auch einmal Periode 18 Sek. auf, aber dann meistens zu Beginn der grössten Bewegung. Wir haben hier also ganz analoge Verhältnisse wie bei den Nachläufern. Diese Tatsache steht in Widerspruch mit den Anschauungen, die C. Mainka (21) auf Grund von Registrierungen über die Perioden der Maximalwellen vertreten zu müssen glaubt. Als Resultat seiner Messungen an den Maximalwellen findet er folgendes: Die Periode der Hauptwellen, deren Herd etwa 90^0 vom Beobachtungsorte entfernt liegt, ist rund 18 Sek. Das Resultat ist so gewonnen, dass die Perioden der Maximalwellen von Beben der erwähnten Entfernung gemittelt sind. Unter diesen Beben befinden sich in Potsdam registrierte Beben mit Herden, die im wesentlichen in Costa-Rica, Neu-Guinea und Japan liegen. Man erkennt zunächst, dass die Bedingung der Herddistanz von 90^0 nur annähernd erfüllt ist. Nun ergibt sich aber für Göttingen — und die Beobachtungsdaten, die C. Mainka von Potsdam bzw. von Strassburg anführt, lassen es gleichfalls deutlich im einzelnen auch für diese Stationen erkennen — Folgendes: Die Amerikabeben haben in den Maximalwellen durchschnittlich 18 Sek. Periode, selten viel darüber, meistens etwas weniger, die Japanbeben zeigen dagegen kleinere Perioden, um 12 Sek., selten treten grössere mehr bei ihnen in den Vordergrund. Endlich zeichnen sich die Beben aus der Gegend von Neu-Guinea dadurch aus, dass sich bei ihnen neben Wellen von hauptsächlich 18 Sek. Periode solche von grösserer Periode bemerkbar machen. Jedenfalls wurden bei ihnen kleine Perioden (ca. 12 Sek.) überhaupt nicht beobachtet. Da nun für die Maximalwellen die mittlere Periode bei den Japanbeben genau soviel unter der mittleren Periode der Maximalwellen bei den Amerikabeben liegt, wie die mittlere Periode der Maximalwellen bei den Neu-Guineabeben über ihnen liegt, nämlich ca. 5 Sek., wie sofort aus den angegebenen Tabellen folgt, so erhalten wir als Gesamtmittelwert dieser drei Gruppen mit Mainka natürlich Periode 18 Sek. Betrachtet man jedoch die Gruppen einzeln, so ist dies Resultat nicht als richtig anzuerkennen, wie wir ja gerade dadurch sahen, dass wir Japan- und Mexikobeben, die doch

ungefähr aus gleicher Epicentralentfernung sind, also nach Mainka auch dieselbe Periode der Maximalwellen zeigen müssten, ebenso wie bei den Nachläufern hinsichtlich der Periode ihrer Maximalwellen einander gegenüberstellten und erkannten, dass die Japanbeben durchweg viel kürzere Perioden in den Maximalwellen zeigten als die Amerikabeben. Hierdurch lassen sich schon beim blossen Betrachten der Diagramme sofort beide Arten von Beben unterscheiden.

15. Vergleichende Übersicht über die Perioden der Vorläufer-, Maximal- und Nachläuferwellen bei einem und demselben Beben.

An der Hand der folgenden Tabelle wollen wir noch einmal besonders die in den Vorläufern gemessenen Perioden zusammenfassend betrachten und noch einige Bemerkungen hinzufügen. Gleichzeitig sind auch in der Tabelle die für das betreffende Beben beobachteten Periodenwerte der Maximal- bzw. Nachläuferwellen mit angegeben. Die mit T_P überschriebene Spalte der Tabelle enthält die Resultate der Periodenmessungen für die ersten Vorläufer, Spalte T_S in gleicher Weise für die zweiten Vorläufer, T_M für die Maximal-

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
		T_P						T_S						T_M
Lfd. Nr.	Datum	Häufungsstellen bei			kleinste	grösste	mittlere	Häufungsstellen bei			kleinste	grösste	mittlere	Häufungs-
1.	1905 Mai 31	0,9	—	—	0,5	1,0	0,8	1,2	2,0	—	0,8	4,1	1,8	2,0
2.	Juni 2	0,9	—	—	0,1	2,0	0,9	1,0	1,9	—	0,5	4,1	1,6	(1,1) 2,0
3.	1906 April 13	—	—	—	—	—	—	1,0	1,9	—	1,9	2,0	1,6	2,0
4.	18	1,2	(2,0)	—	0,6	3,0	1,4	(1,2)	(1,9)	(2,8)	0,9	3,8	1,9	—
5.	Sept. 7	1,1	(2,0)	—	0,9	2,0	1,3	—	2,0	(3,0)	1,0	3,3	1,9	2,1
6.	Okt. 2	1,0	—	(3,0)	0,6	4,0	1,4	—	2,0	(3,0)	1,0	4,0	2,3	—
7.	1907 April 15	1,0	(1,9)	—	0,5	4,0	1,5	1,1	2,1	—	0,8	5,8	2,6	(2,2)
8.	1908März26/27	—	2,0	2,9	1,2	3,4	2,2	—	2,0	3,0	1,9	4,1	2,6	—
9.	Mai 15	(0,8)	2,0	—	0,3	2,9	1,5	—	2,0	—	0,6	3,5	2,1	2.0
10.	Juni 3	(0,9)	—	—	0,2	1,9	0,9	1,0; 1,4	2,0	—	0,8	3,0	1,6	—
11.	1909 Juni 3	1,1	2,0	—	0,8	3,2	1,6	1,0	2,0	2,9	0,8	5,0	2,3	—
12.	Aug. 14	1,0	—	—	0,9	1,9	1,2	—	1,9	—	1,6	3,0	1,9	2,1
13.	1910 Nov. 26	1,5	2,0	—	0,9	2,5	1,8	—	2,0	3,0	1,5	4,6	2,7	—
14	1911 Juni 6	0,9	1,9	—	0,8	2,3	1,4	1,0	1,9	—	0,9	6,1	2,4	2,0; 2,5
15.	Juli 12	(0,9)	1,9	—	0,5	2,8	1,6	(1,5)	2,0	(3,0)	0,9	5,6	2,3	2,0
16.	Okt. 13	1,0	2,0	—	0,7	2,0	1,5	1,0	2,0	(2,9)	1,0	3,5	2,1	2,1
17.	14	—	—	—	—	—	—	—	2,0	—	1,0	3,0	1,8	(2,1)
	Mittel:	1,0	2,0	3,0	—	—	1,4	1,1	2,0	3,0	—	—	2,1	2,1

wellen und T_C für die Nachläuferwellen. Aus den Überschriften der Unterabteilungen geht das weitere hervor. Die Perioden sind wieder in Zehntelminuten angegeben. Die Zahlen, welche die Spalten 25 bis 39 enthalten, sind Verhältniszahlen. Wie sie gewonnen sind, gibt der am Kopf der einzelnen Spalte stehende Bruch an. So bedeutet z. B. $\frac{10}{9}$, dass ich alle Zahlen dieser Spalte erhalten habe, indem ich den für das betreffende Beben gültigen Periodenwert der Spalte 10 durch den entsprechenden der Spalte 9 dividierte. Aus der Tabelle erkennt man wieder ohne weiteres, dass für beide Vorläufer Perioden von ca. 6, 12 und 18 Sek. eine Rolle spielen. Die Periode 18 Sek. tritt verhältnismässig viel seltener auf als die beiden anderen. Im einzelnen sieht man, dass in den ersten Vorläuferwellen eines Bebens neben einer ausgesprochenen Periode häufig noch eine zweite, manchmal sogar noch eine dritte Bedeutung hat. In den zweiten Vorläufern desselben Bebens finden wir dann meistens die in den ersten Vorläufern ausgezeichneten Perioden wieder. Doch kommt auch der Fall vor, dass die eine oder andere bei den

18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.	35.	36.	37.	38.	39.
T_M		T_C																			
grösste	mittlere	Häufungsstellen bei		kleinste	grösste	mittlere	4/3	5/3	10/9	11/9	5/4	11/10	10/3	11/4	4/9	5/10	11/3	5/9	14/8	19/14	24/19
3,6	2,5	2,0	—	1,2	3,0	2,3	—	—	1,7	—	—	—	2,2	—	—	—	—	—	2,2	1,4	0,9
4,5	2,3	—	—	—	—	—	—	—	1,9	—	—	—	2,1	—	—	—	—	—	1,8	1,4	—
2,8	1,8	2,0	—	1,2	3,0	2,1	—	—	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,1	1,2
—	—	(2,2)	3,0	2,0	4,0	2,8	1,7	—	1,6	2,3	—	1,5	1,6	1,4	1,7	—	2,3	—	1,4	—	—
3,7	2,3	2,0	—	1,8	3,2	2,1	1,8	—	—	—	—	1,5	1,8	1,5	—	—	2,7	—	1,5	1,2	0,9
4,8	2,3	—	3,0	2,2	3,8	3,0	—	3,0	—	—	—	1,5	2,0	—	—	1,5	3,0	—	1,6	1,0	1,3
5,6	3,0	—	3,0	2,0	3,8	2,8	1,9	—	1,9	—	—	—	2,1	—	1,7	—	—	—	1,7	1,2	0,9
4,2	3,1	—	3,0	2,0	4,9	2,8	—	—	—	—	1,5	1,5	—	1,5	—	1,5	—	—	1,2	1,2	0,9
3,5	2,3	2,0	—	1,4	3,0	2,0	2,5	—	—	—	—	—	2,5	—	—	—	—	—	1,4	1,1	0,9
—	—	2,0	—	1,4	3,0	2,2	—	—	2,0	—	—	—	2,2	—	—	—	—	—	1,8	—	—
									1,4												
—	—	2,0	3,0	1,8	4,5	2,7	1,8	—	2,0	2,9	—	1,5	1,8	1,5	2,0	—	2,6	—	1,4	—	—
3,0	2,1	2,0	—	1,7	3,0	2,1	—	—	—	—	—	—	1,9	—	—	—	—	—	1,6	1,1	1,0
3,0	3,0	—	3,0	—	—	—	1,3	—	—	—	—	1,5	1,3	1,5	—	—	2,0	—	1,5	1,1	—
2,6	2,6	(2,2)	3,0	1,9	4,0	2,8	2,1	—	1,9	—	—	—	2,1	—	1,9	—	—	—	1,7	—	1,1
3,0	3,0	2,0	3,0	1,0	4,0	2,2	2.1	—	1,3	2,0	—	1,5	2,2	1,6	1,3	—	3,3	—	1,4	—	0,7
2,6	2,6	2,0	—	1,5	3,1	2,1	2,0	—	2,0	2,9	—	1,5	2,0	1,5	2,0	—	2,9	—	1,4	—	0,8
2,5	2,5	2,0	—	1,8	3,0	2,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,9
—	—	2,0	3,0	—	—	—	1,9	3,0	1,8	2,5	1,5	1,5	2,0	1,5	1,8	1,5	2,7	—	1,6	1,2	1,0

ersten Vorläuferwellen gemessene Periode sich bei den zweiten Vorläufern nicht wiederfindet, bzw. dass eine neue Periode hinzutritt, die in den ersten Vorläufern desselben Bebens noch nicht beobachtet war.

Ich bilde nun die Periodenverhältnisse in der Weise, wie es die Tabelle angibt, und mittele sie. Es bedeutet z. B. $\frac{M\,10}{M\,9} = 1{,}8$ den Mittelwert aus den Zahlen der Spalte 10 dividiert durch den Mittelwert aus den Zahlen der Spalte 9. $M\,\frac{10}{9}$ bedeutet den Mittelwert aus den Zahlen der Spalte $\frac{10}{9}$. Wie die Werte dieser Spalten wiederum gewonnen wurden, habe ich oben bereits angegeben. Entsprechende Verhältniszahlen kann ich nun in Gruppen zusammenfassen. Ich erhalte z. B. in der angegebenen Schreibweise

$$\text{I.}\quad \frac{M\,4}{M\,3} = 2{,}0;\ \frac{M\,10}{M\,3} = 2{,}0;\ \frac{M\,10}{M\,9} = 1{,}8;\ \frac{M\,4}{M\,9} = 1{,}8;$$

$$M\,\frac{4}{3} = 1{,}9;\ M\,\frac{10}{3} = 2{,}0;\ M\,\frac{10}{9} = 1{,}8;\ M\,\frac{4}{9} = 1{,}8.$$

Als Gesamtmittelwert erhalte ich hieraus für das Verhältnis der beiden in den Vorläufern am häufigsten vorkommenden Perioden den Wert 1,9. Es entspricht dieses durchaus einer Hypothese von E. Wiechert, nach der bei einem Bruch der Erdrinde am Herd zugleich longitudinale und transversale Wellen erzeugt werden, sodass beide Vorphasen neben Wellen gleicher Periode auch solche Wellen enthalten müssen, deren Perioden im umgekehrten Verhältnis ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeiten stehen. Bilde ich die Periodenmittelwerte über die ganzen Phasen, wie es die Tabelle angibt, so erhalte ich etwas kleinere Werte hierfür, nämlich

$$\frac{M\,14}{M\,8} = 1{,}5;\ M\,\frac{14}{8} = 1{,}6;\ \text{im Mittel } 1{,}6.$$

Ferner bilden wir jetzt noch

$$\text{II.}\quad \frac{M\,5}{M\,3} = 3{,}0;\ \frac{M\,11}{M\,3} = 3{,}0;\ \frac{M\,11}{M\,9} = 2{,}7;\ \frac{M\,5}{M\,9} = 2{,}7$$

$$M\,\frac{5}{3} = 3{,}0;\ M\,\frac{11}{3} = 2{,}7;\ M\,\frac{11}{9} = 2{,}5.$$

Hieraus resultiert der Mittelwert 2,8.

III. $$\frac{M\,5}{M\,4} = 1{,}5;\ \frac{M\,11}{M\,10} = 1{,}5;\ \frac{M\,11}{M\,4} = 1{,}5;\ \frac{M\,5}{M\,10} = 1{,}5.$$

$$M\frac{5}{4} = 1{,}5;\ M\frac{11}{10} = 1{,}5;\ M\frac{11}{4} = 1{,}5;\ M\frac{5}{10} = 1{,}5.$$

Als Mittelwert ergibt sich 1,5. Eine Beziehung der Perioden der Maximalwellen bzw. Nachläuferwellen zu den in den Vorläufern vorkommenden Perioden ist wohl kaum zu erkennen. Beachtenswert ist vielleicht, dass bei keinem dieser Beben in den Maximalwellen ausgesprochen Periode 6 Sek. beobachtet wurde, selbst wenn sie in den Vorläufern eine ausgezeichnete Rolle spielte. Als mittleres Periodenverhältnis der Periodenmittelwerte der Maximalwellen zu denen der zweiten Vorläufer ergibt sich

IV. $$\frac{T_M}{T_S} = 1{,}4.$$

Ebenso zeigen die Nachläuferwellen hinsichtlich ihrer Periode keine Beziehung zu den in den Vorläufern desselben Bebens beobachteten Perioden. Dagegen zeigen die Nachläuferwellen mit den Maximalwellen hinsichtlich der bei ihnen vorkommenden Perioden bei demselben Beben weitgehende Analogie.

16. Die Perioden der Gegenpunktswellen.

Zum Schluss dehne ich noch die bisherige Periodenuntersuchung auf die Wellen aus, die zum zweitenmal die Station passieren, nämlich auf die Gegenpunktswellen, wie sie auch genannt werden, da sie auf ihrem Wege um die Erde durch den Gegenpunkt des Herdes gegangen sind. Vorweg mag bemerkt werden, dass die Wiederkehr des Bebens in den Gegenpunktswellen nur äusserst selten in gut ausgeprägten Perioden stattfindet. Am deutlichsten und besten bilden sie sich aus, wenn der Herd des Bebens nicht weit von der registrierenden Station liegt, genügende Stärke des Stromes vorausgesetzt. Denn bei geringer Epizentralentfernung kommt es nur selten vor, dass die Gegenpunktswellen noch in den Zug der Nachläuferwellen fallen. Meistens ist das erste Beben schon verklungen, wenn die Gegenpunktswellen bei der Station eintreffen. Bei weiter entfernten Beben dagegen, bei denen sich schon der Unterschied in den Geschwindigkeiten der verschiedenen Wellenarten deutlicher bemerkbar macht, und sich darin äussert, dass man zeitlich langausgedehnte Diagramme erhält, treten

die Gegenpunktswellen zu einer Zeit auf, wo die durch das erste Beben hervorgerufene Bewegung noch andauert, wenn auch meistens nur mit geringer Amplitude. Dadurch nun, dass sich die Gegenpunktswellen mit den Nachläuferwellen vermischen, ist ihre Periode nicht immer ganz fehlerfrei festzustellen. Kommen noch die übrigen Störungen, wie seismische Bodenunruhe usw. hinzu, so lässt sich die Registrierung nicht zur Periodenuntersuchung verwerten. Es wurden die Gegenpunktswellen folgender Beben der Messung unterzogen:

Lfd. Nr.	Datum	Nr. der Tabelle
1.	1905 Juni 2.	—
2.	„ Juli 11.	7
3.	„ Sept. 8.	3
4.	„ Dez. 4.	6
5.	„ „ 10.	5
6.	1906 Juni 1.	4
7.	„ Sept. 7.	—
8.	„ Dez. 23.	1
9.	1908 Mai 15.	2
10.	1911 Jan. 3./4.	8

Die Messungen sind im einzelnen folgende:

1.

T	n
3,0	12
3,1	2
3,2	6
M = 3,1	

2.

T	n
2,8	2
2,9	5
3,0	11
M = 3,0	

3.

T	n
2,2	1
3,0	9
3,5	1
M = 2,9	

4.

T	n
2,8	2
2,9	1
3,0	4
3,2	1
M = 3,0	

5.

3,0	3
3,2	2
3,3	1
3,6	1
3,8	1
M = 3,3	

6.

2,0	1
2,5	2
2,6	2
2,7	1
2,9	2
3,0	2
M = 2,7	

7.

2,2	1
2,5	1
2,8	2
2,9	1
3,0	4
3,2	2
3,5	1
M = 2,9	

8.

2,0	1
2,1	2
2,3	1
2,5	2
2,6	1
2,7	1
2,8	4
2,9	11
3,0	23
3,1	12
3,2	4
3,3	4
3,4	3
3,5	3
3,8	1
4,0	2
M = 3,0	

Bemerkungen zu den einzelnen Beben hinsichtlich der Perioden ihrer Gegenpunktswellen.

2 (9). Periode 18 Sek. ist die am häufigsten in den Gegenpunktswellen dieses Bebens vertretene. Demgegenüber ist besonders auffallend, dass sowohl die Nachläuferwellen als die Maximalwellen dieses Bebens als Haupthäufungsstelle 12 Sek. Periode zeigen.

3 (3). Die einmal wiederkehrenden Wellen dieses Bebens eigneten sich nicht zur Messung, da sie stark gestört waren. Die Tabelle enthält vielmehr die Periodenmessungen der besser ausgebildeten zum zweitenmal wiederkehrenden Wellen.

4 (6). Die Maximalwellen dieses Bebens haben mit den Gegenpunktswellen dieselbe Periodenhäufungsstelle bei 18 Sek. gemeinsam.

6 (4). Die gemessenen Perioden der Gegenpunktswellen sind von der herrschenden kurzperiodischen Bodenunruhe beeinflusst.

7 (2). Die Perioden der Gegenpunktswellen dieses Bebens haben den Mittelwert 17,4 Sek., während die Maximalwellen als einzige ausgesprochene Häufungsstelle Periode 12 Sek. aufweisen.

8 (10). Die Gegenpunktswellen sind bei diesem Beben ausserordentlich zahlreich. Im Mittel ergibt sich wiederum Periode 18 Sek.

— (1). Einige wenige schwach ausgeprägte Wellen von der Periode 15,6 Sek. im Mittel stellen die Gegenpunktswellen dieses Bebens dar.

— (7). In den abklingenden Nachläuferwellen mit der Periode 12 Sek. machen sich plötzlich zu einer Zeit, wo die Gegenpunktswellen eintreffen müssen, Wellen grösserer Periode von ca. 18 Sek. Periode bemerkbar. Die Maximalwellen dieses Bebens zeigen eine Häufungsstelle bei ca. 12 Sek. Periode.

Die summarische Zusammenstellung der bei den einzelnen Beben gemessenen Perioden der Gegenpunktswellen ist wieder in folgender Tabelle enthalten:

T	n	T	n	T	n	T	n
2,0	1	2,7	1	3,1	2	3,5	2
2,2	2	2,8	6	3,2	11	3,6	1
2,5	5	2,9	9	3,3	1	3,8	1
2,6	3	3,0	45				

M = 3,0.

Aus dieser Tabelle und auch aus den Einzeldaten ergibt sich, dass die Gegenpunktswellen im Mittel eine Periode von 17—20 Sek., selten eine grössere aufweisen, also Perioden, deren ausgezeichnete Stellung uns schon während der vorliegenden Untersuchung verschiedentlich bewusst geworden ist. Auffallend ist es aus gleich

näher zu erörternden Gründen, dass es gewisse Beben gibt, die in den Maximalwellen und Nachläuferwellen deutlich 12 Sek. als vorherrschende Periode aufweisen, in den Gegenpunktswellen aber eine Periode von ca. 18 Sek. Es ist deshalb so auffallend, weil man die Gegenpunktswellen als wiederkehrende Maximalwellen, die zum zweitenmal die Beobachtungsstation passieren, auffasst und geneigt ist, ihnen auch dieselbe Periode, wie beim ersten Passieren für jedes einzelne Beben zuzuschreiben. Ein derartig auffallendes Beispiel ist das Beben 08 Mai 15, wie man durch Vergleich der Daten leicht erkennt. Bei genauerer Untersuchung zeigt sich, dass den Wellen der Periode 18 Sek. für die Maximalbewegung ein bedeutender Anteil zukommt gegenüber den 12sekundigen Wellen, und zwar ist der zeitliche Verlauf der Maximalwellen bei diesem Beben hinsichtlich der Periode derart, dass die Maximalbewegung zuerst mit kräftig ausgebildeten 18sekundigen Wellen einsetzt, die dann aber sehr bald von 12sekundigen abgelöst werden. Bei den wiederkehrenden Wellen kommen dann eben nur die 18sekundigen Wellen zur Geltung, während die Maximalwellen von 12 Sek. Periode in ihnen nicht wiederzuerkennen sind, da sie höchstwahrscheinlich stärker absorbiert werden. Zur genaueren Untersuchung dieser Fragen, insbesondere ob die Schichten unmittelbar am Epizentrum, oder die Schichten zwischen Epizentrum und Beobachtungsstation d. h. der durchlaufene Weg direkt oder indirekt für die vorkommenden Perioden verantwortlich zu machen sind, kann nur die Bearbeitung eines Bebens an möglichst vielen mit gleichen Apparaten ausgerüsteten Stationen lehren.

Zusammenfassung.

Es sei im folgenden eine kurze Übersicht über den behandelten Stoff gegeben:

1. Im allgemeinen ist der zeitliche Periodenverlauf bei einem Erdbeben an einer Station fern vom Herd derart, dass die Periode von kleinen Werten zu Beginn des Bebens auf einen Maximalwert steigt, um dann wieder ebenso abzunehmen und endlich für lange Zeit, oft stundenlang, bis zum Schluss der Bebenaufzeichnung durch die Seismographen in den sog. Nachläufern vollständig konstant zu bleiben.

2. Alle untersuchten Beben liessen sich nach der in ihren Nachläufern am häufigsten beobachteten Periode im wesentlichen in zwei grosse Gruppen einteilen, nämlich in Beben, die eine Periode von ca. 12 Sek. und solche, die eine Periode von ca. 18 Sek. als Häufungs-

stelle aufwiesen. Hierdurch ist zugleich der Beweis erbracht, dass die beobachtete Periodenkonstanz in den Nachläufern keineswegs durch eine sog. Stationsschwingung hervorgerufen werden kann.

3. Die von vielen Seiten gegebene Erklärung, die bei einem Beben in allen Phasen vorkommenden Perioden als Grund- bezw. Oberschwingungen aufzufassen, erwies sich als nicht haltbar, im besonderen nicht für die Nachläufer.

4. Ebenso besteht eine Abhängigkeit der beobachteten Nachläuferperiode nur von der Epizentralentfernung nicht. Besonders deutlich liess dies die grosse Anzahl der japanischen bzw. mexikanischen Beben erkennen. Bei ungefähr gleicher Epizentralentfernung zeigen die japanischen Beben in den Nachläufern eine ausgesprochene Häufungsstelle um die Periode 12 Sek., die mexikanischen Beben dagegen eine ausgesprochene Häufungsstelle um die Periode 18 Sek.

5. Eine Eintragung der Resultate in betreff der Nachläuferperioden in eine Weltkarte ergab eine gewisse Abhängigkeit der beobachteten Periode der Nachläuferwellen von der geographischen Lage des Epizentrums. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, mit Hilfe der Nachläuferwellen eines Bebens Angaben über die vermutliche Lage des Herdes zu machen.

6. Unter Umständen scheint auch die Bebenstärke einen Einfluss auf die Nachläuferperiode auszuüben, wenigstens weisen hierauf einige sibirische Beben hin. Die besonders heftigen von ihnen zeigten bei ca. 18 Sek. Periode eine Häufungsstelle, die weniger heftigen dagegen eine Häufungsstelle bei ca. 12 Sek.

7. Für die Maximalwellen ergeben sich bei den untersuchten Beben die Perioden 12 Sek. und 18 Sek. als die häufigsten. Im übrigen zeigen die Maximalwellen mit den Nachläuferwellen für die einzelnen Beben hinsichtlich der Periode grosse Analogie.

8. Für die ersten und zweiten Vorläufer liess sich eine ähnliche Beziehung, wie die für die Nachläuferwellen festgestellte Abhängigkeit der Periode von der geographischen Lage des Epizentrums nicht nachweisen.

9. Innerhalb der ersten bzw. der zweiten Vorläufer erscheint für die einzelnen Beben mit wenigen Ausnahmen die Periode im ganzen konstant.

10. In den ersten Vorläufern sind Perioden von ca. 6 und 12 Sek. als häufigste beobachtet. Gelegentlich trat auch Periode 18 Sek. ein wenig hervor.

11. In den zweiten Vorläufern sind gleichfalls Perioden von ca. 6 u. 12 Sek. am häufigsten. Weniger ausgesprochen wurde Periode 18 Sek. beobachtet. Neben diesen machten sich vor allen Dingen zu Beginn der zweiten Vorläufer ganz lange Perioden bemerkbar, unter denen eine Periode von ca. 30 Sek. besonders häufig vorkam.

12. Das Verhältnis der beiden in den zweiten Vorläufern und der in den ersten Vorläufern am häufigsten vorkommenden Perioden ist für die einzelnen Beben nahezu konstant; sein Wert ist im Mittel = 1,9.

13. Die Gegenpunktswellen weisen bei allen untersuchten Beben eine mittlere Periode von 18 Sek. auf.

Es mag noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die angestellten Beobachtungen zunächst nur für Göttingen Gültigkeit haben.

Literaturverzeichnis.

1. Angenheister, Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption der Erdbebenwellen, die durch den Gegenpunkt des Herdes gegangen sind. Nachrichten der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Math. phys. Klasse 1906. Heft 1.
2. Derselbe, Seismische Registrierungen in Göttingen im Jahre 1905. Nachrichten der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Math. phys. Klasse 1906. Heft 4.
3. Arnold, Die Erdbewegung während des ersten Vorläufers eines Erdbebens. Diss. Göttingen. 1909.
4. Bromwich, Mathem. Soc. Proceedings Vol. 30. London 1899.
5. Etzold, Die vom Wiechertschen Pendelseismometer gelieferten Diagramme von Fernbeben. Berichte der Kgl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften. 1903. 2. Februar.
6. Fuchs, Freie Schwingungen der Erde. Gerland und Rudolph, Beiträge zur Geophysik. VIII. Leipzig 1907.
7. Galitzin, Über seismometrische Beobachtungen. Académie Impériale des Sciences. Comptes Rendus des Séances de la Commission Sismique Permanente. Tome I. St. Petersburg. 1904.
8. Derselbe, Seismometrische Beobachtungen in Pulkowa II. Ebenda Tome III. Livraison II. Nr. 1.
9. Günther, Handbuch der Geophysik I. Stuttgart, Ferdinand Enke.
10. Gutenberg, Über seismische Bodenunruhe. Diss. Göttingen 1911.
11. Helmert, Die Schwerkraft und die Massenverteilung der Erde. Enzyklopädie der math. Wissenschaften VI, I B.
12. Internationaler Erdbebenkatalog 1905. Veröffentlichungen des Zentralbureaus der Internationalen Seismologischen Assoziation, Strassburg.
13. Internationaler Erdbebenkatalog 1906. Ebenda.
14. Knott, The Physics of Earthquake Phenomena. Oxford, at the Clarendon Press 1908.

15. Kusakabe, Modulus of Rigidity of Rocks and Hysteresis Function. Journal of the College of Science, Imperial University, Tokyo. Vol. 19. Art. 6.

16. Derselbe, On the Modulus of Rigidity of Rocks. Publications of the Earthquake Investigation Committee in Foreign Languages Nr. 14. Tokyo 1903.

17. Derselbe, Kinetic Measurements of the Modulus of Elasticity for 158 Specimens of Rocks. Journal of the College of Science, Imperial University. Tokyo. Vol. 20. Art. 10.

18. Láska, Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Lemberg während des Jahres 1901. Mitteilungen der Erdbebenkommission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Neue Folge. Nr. 9.

19. Linke, Die Brandungsbewegungen des Erdbodens und ein Versuch ihrer Verwendung in der praktischen Meteorologie. (Nach den Registrierungen und Beobachtungen des Samoa-Observatoriums.) Abhandlungen der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, math.-phys. Klasse. Neue Folge. Nr. 3.

20. Love, Lehrbuch der Elastizität. Teubner 1907. Leipzig und Berlin.

21. Mainka, Seismometrische Beobachtungen in Strassburg i. E. in der Zeit vom 1. Januar bis 31. Dezember 1905. Gerland und Rudolph, Beiträge zur Geophysik, X. Heft 4. Leipzig 1910.

22. Mintrop, Über die Ausbreitung der von den Massendrucken einer Grossgasmaschine erzeugten Bodenschwingungen. Diss. Göttingen 1911.

23. Nagaoka, On the Existence of Secondary Vibrations in Seismic Waves. Reprinted from Tokyo Sugaku-Butsurigakkwai, Kiji-Gaiyo. Vol. II. Nr. 28. (Proceedings of the Tokyo Physico-Mathematical Society.)

24. Derselbe: On Damped Progressive Waves and the Formation of Tail in Distant Earthquakes. Ebenda. Vol. III, No. 1.

25. Derselbe, Dispersion of Seismic Wawes. Ebenda. Vol. III. Nr. 2.

26. Derselbe: Erdpulsation und die Eruption des Krakatau.

27. Oddone, Sull'estensione d'una legge acustica. Atti R. Accad. dei Lincei 13. 1904. Rendiconti. Classe di Sc. fis., mat. e nat.

28. Omori, Horizontal Pendulum Observations of Earthquakes at Hitotsubashi (Tokyo) 1900. Publ. of the Earthquake Inv. Com. in Foreign Languages. Nr. 13. Tokyo 1903.

29. Derselbe, Horizontal Pendulum Observations of Earthquakes in Tokyo. Ebenda Nr. 21. Tokyo 1905.

30. Derselbe, Indian Earthquake I. u. II. Teil. Ebenda Nr. 23 u. 24. Tokyo 1907.

31. Rudzki, Physik der Erde. Leipzig, Tauchnitz 1911.

32. Schlüter, Schwingungsart und Weg der Erdbebenwellen. I. Teil: Neigungen. Diss. Göttingen 1901. II. Teil: Translationsschwingungen. Gerland und Rudolph, Beiträge zur Geophysik V. Leipzig 1903.

33. Wiechert, Seismometrische Beobachtungen im Göttinger Geophysikalischen Institut. Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen. Math. phys. Klasse 1899. Heft 2.

34. Derselbe, Das Institut für Geophysik der Universität Göttingen. Sonderabdruck aus der Festschrift 1906: Die Physikalischen Institute der Universität Göttingen.

35. Derselbe, Theorie der automatischen Seismographen. Abhandlungen der Kgl. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen, math.-phys. Klasse. Neue Folge. Bd. II. Nr. 2.

36. Derselbe und Zoeppritz, Über Erdbebenwellen I und II. Aus den Nachrichten der Kgl. Ges. der Wissensch. zu Göttingen, math.-phys. Klasse 1907.

37. Zeissig, Mitteilungen der seismischen Station Darmstadt-Jugendheim.

38. Zoeppritz, Seismische Registrierungen in Göttingen im Jahre 1906. Aus den Nachrichten der Kgl. Ges. der Wissensch. zu Göttingen, math-phys. Klasse 1908.

Übersicht.

			Seite
A.	1.	Zusammenhang zwischen wahrer Bodenbewegung und Indikatorbewegung	1
	2.	Das Beobachtungsmaterial und seine Bearbeitung	5
B.	3.	Zeitliche Änderung der Wellenperiode bei der Registrierung eines Fernbebens	7
	4.	Vorbemerkungen zu den folgenden Periodenuntersuchungen der Nachläuferwellen	10
	5.	Die bei den Nachläuferwellen von 87 Fernbeben beobachteten Perioden	13
	6.	Bemerkungen hierzu	18
	7.	Grund- und Oberschwingungen bei Erdbebenwellen unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse bei den Nachläufern	23
	8.	Abhängigkeit der Periode von der Epizentralentfernung	31
	9.	Abhängigkeit der Periode von der geographischen Lage des Epizentrums	32
	10.	Bemerkungen hierzu; Einfluss der Bebenstärke auf die Wellenperiode	38
	11.	Vorbemerkungen über die Perioden der Vorläufer-, Maximal- und Gegenpunktswellen	44
	12.	Die Perioden der ersten Vorläuferwellen	47
	13.	Die Perioden der zweiten Vorläuferwellen	49
	14.	Die Perioden der Maximalwellen	54
	15.	Vergleichende Übersicht über die Perioden der Vorläufer-, Maximal- und Nachläuferwellen bei einem und demselben Beben	60
	16.	Die Perioden der Gegenpunktswellen	63
C.	17.	Zusammenfassung	66
D.	18.	Literaturverzeichnis	68

Lebenslauf.

Am 4. Januar 1889 wurde ich, Karl Friedrich Roesener, als Sohn des Gymnasialprofessors Philipp Roesener evangelischer Konfession zu Hannover geboren und bin preussischer Staatsangehöriger. Nachdem ich zuerst von Ostern 1895 an die Vorschule besucht hatte, absolvierte ich das Städtische Gymnasium Lyceum II (jetzt Kgl. Goethegymnasium) zu Hannover. Ostern 1907 verliess ich diese Anstalt mit dem Zeugnis der Reife. Seitdem studierte ich Mathematik, Physik und Chemie und zwar zuerst zwei Semester in Tübingen, dann von Ostern 1908 an in Göttingen. Ich besuchte Vorlesungen und Übungen bei den Herren Professoren:

Adickes, Angenheister, Bousset, v. Brill, Coehn, v. Esmarch, Fröhlich, Hilbert, Klein, Körte, Kötz, Landau, Maurer, Minkowski, Mügge, C. H. Müller, G. E. Müller, Paschen, Pompeckj, Riecke, C. Runge, Schwarzschild, H. Th. Simon, Spitta, v. Stahl †, Tammann, Verworn, W. Voigt, Wallach, Wiechert, Zermelo, Zsigmondy.

An dieser Stelle spreche ich allen meinen hochverehrten Herren Lehrern meinen herzlichsten Dank aus. Ganz besonderen Dank schulde ich Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Wiechert. Er hat mich zu dieser Arbeit angeregt und mir während ihrer Ausführung stets in liebenswürdigster Weise mit seinem Rat zur Seite gestanden.